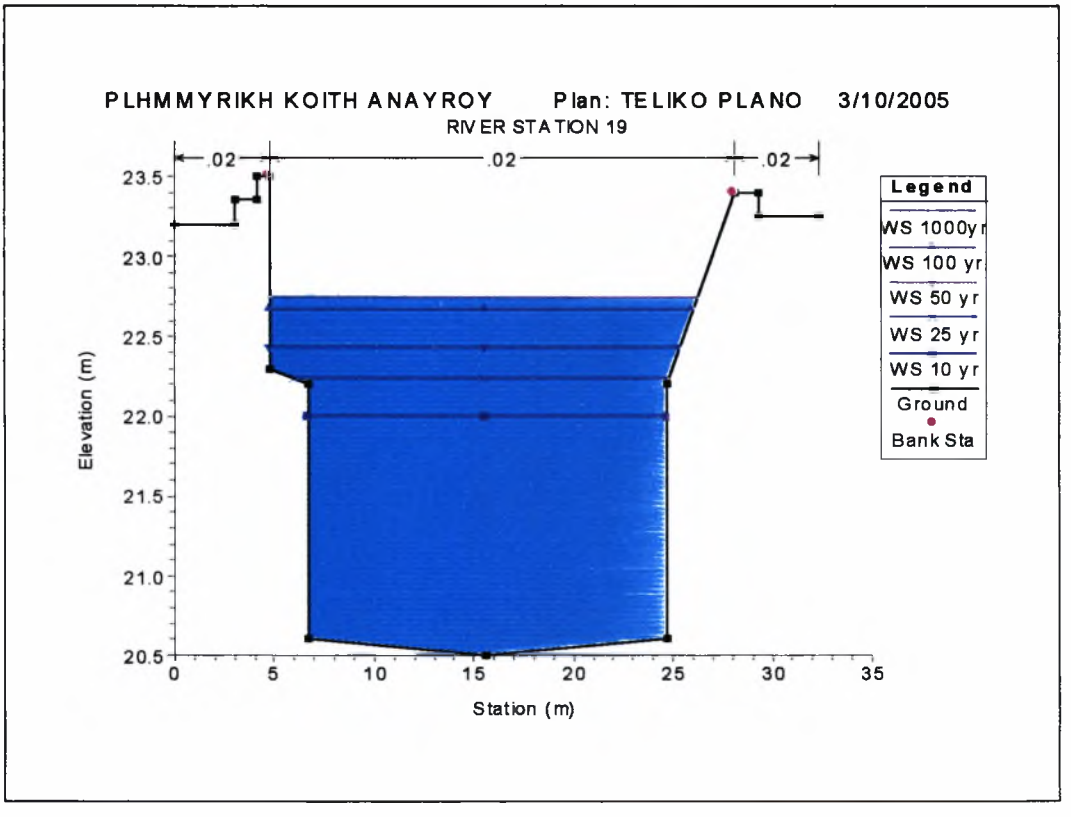
**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**
**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**
Ακαδημαϊκό Έτος 2004-2005

# "Αριθμητική προσομοίωση της ροής σε φυσικό υδατόρευμα με τη χρήση του υδραυλικού προγράμματος HEC-RAS"




**ΠΑΡΕΣΙΔΟΥ ΑΝΑΤΟΛΗ**
**ΠΛΙΤΣΗ ΔΗΜΗΤΡΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΔΙΔΑΣΚΩΝ**
**Δρ. ΦΑΡΣΙΡΩΤΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ**

**ΒΟΛΟΣ 2005**

*Αφιερώνουμε τη διπλωματική μας εργασία στους γονείς μας, οι οποίοι μας έχουν στηρίξει όλα αυτά τα χρόνια υλικά, αλλά, προπάντων, ψυχολογικά καθώς και η μία στην άλλη για τις καλές και τις δύσκολες στιγμές που περάσαμε και έγιναν αιτία να δοκιμαστεί ακόμη περισσότερο η φιλία μας.*

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ιστορία της γης, αλλά και εκείνη του ανθρώπινου γένους είναι συνυφασμένες με πλημμυρικά γεγονότα. Η μεγαλύτερη γνωστή πλημμύρα στην ιστορία της ανθρωπότητας είναι ο κατακλυσμός, ο οποίος περιγράφεται στην Παλαιά Διαθήκη. Υπάρχουν όμως και ιστορικά βεβαιωμένα πλημμυρικά γεγονότα από πολύ παλιές εποχές. Μερικά παραδείγματα:

- οι πλημμύρες του Νείλου, οι οποίες ανάγκασαν τους αρχαίους Αιγυπτίους να εκτρέψουν με διώρυγα τα πλημμυρικά νερά του ποταμού προς τη λίμνη Μοίρη το 2.300 π.Χ.
- οι πλημμύρες των Τίγρη και Ευφράτη, που ταλαιπωρούσαν τους λαούς της Μεσοποταμίας πολύ πριν το 1.000 π.Χ., όπως προκύπτει από τα κείμενα της τότε εποχής που έχουν βρεθεί.
- οι πλημμυρικές καταστροφές του Κίτρινου ποταμού που ανάγκασαν τους Κινέζους να κατασκευάσουν πριν το 4.000 π.Χ. αντιπλημμυρικά έργα και να τοποθετήσουν σταθμήμετρα στην κοίτη του για να παρακολουθούν τις μεταβολές στην παροχή του.

Στη σημερινή εποχή, παρόλη την πληθώρα γνώσεων σε όλους τους τομείς και τα άφθονα τεχνικά μέσα, δεν κατέστη δυνατόν να αποφευχθούν τελείως οι καταστροφές εξαιτίας των πλημμύρων. Οι πολιτικοί μηχανικοί καλούνται, συνεπώς, να επιτελέσουν ένα δύσκολο έργο εκπονώντας συνέχεις μελέτες για τον περιορισμό και, γιατί όχι, την αποφυγή των πλημμύρων. Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μία ακόμη προσπάθεια για την επίτευξη του παραπάνω στόχου.

Στο σημείο αυτό οφείλουμε να ευχαριστήσουμε την καθηγήτρια μας κ. Φαρσιρώτου Ευαγγελία για την πολύτιμη βοήθεια της καθώς και την υπομονή που υπέδειξε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της διπλωματικής εργασίας.

## *ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ*

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα έντονα καιρικά φαινόμενα που εμφανίζονται στις μέρες μας έχουν ως συνέπεια τη δημιουργία πληθώρας προβλημάτων. Οι ραγδαίες βροχοπτώσεις καθώς και οι απρόσμενης έντασης χιονοπτώσεις που πλήττουν αρκετές περιοχές της χώρας μας έχουν ως αποτέλεσμα την πρόκληση υλικών και οικολογικών καταστροφών και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμα και την απώλεια ανθρώπινων ζωών. Το γεγονός αυτό καθιστά απαραίτητη τη λήψη αντιπλημμυρικών μέτρων.

Για τους παραπάνω λόγους εκπονήθηκε η παρούσα διπλωματική εργασία η οποία έχει τίτλο «Αριθμητική προσομοίωση της ροής σε φυσικό υδατόρευμα με τη χρήση του υδραυλικού προγράμματος HEC-RAS» και πραγματεύεται την αντιπλημμυρική προστασία του ποταμού Αναύρου.

Η εργασία αποτελείται από πέντε κεφαλαία. Το **πρώτο** κεφαλαίο αναφέρεται στην αντιπλημμυρική προστασία των περιοχών, οι οποίες χρησιμοποιούνται για παραγωγικούς σκοπούς ή αποτελούν το χώρο εκδηλώσεων της ανθρώπινης δραστηριότητας. Στο **δεύτερο** κεφαλαίο γίνεται η μελέτη του φυσικού υδατορεύματος του Αναύρου με προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών της κάθε κύριας υπολεκάνης απορροής και ολόκληρης της λεκάνης απορροής και στη συνέχεια γίνονται οι υδραυλικοί υπολογισμοί με βάση την ορθολογική μέθοδο χωρίς τη χρήση υδρογραφήματος. Στο **τρίτο** κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία της υδραυλικής μελέτης του ποταμού με τη βοήθεια του προγράμματος υδραυλικής προσομοίωσης HEC-RAS. Στο **τέταρτο** κεφαλαίο γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση της υπάρχουσας κατάστασης και αναζητούνται τα σημεία πιθανής επέμβασης για την βελτίωση των υφιστάμενων συνθηκών. Επιπλέον, προτείνονται εναλλακτικές επεμβάσεις για την βελτίωση της υπάρχουσας κατάστασης. Τέλος, στο **πέμπτο** κεφάλαιο αξιολογούνται οι παραπάνω προτάσεις και παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την μελέτη που προηγήθηκε.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1$^{ο}$

# ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

## 1.1 Γενικές έννοιες – ορισμοί

Οι πλημμύρες ανέκαθεν επηρέαζαν δυσμενώς τον άνθρωπο και τις δραστηριότητές του. Για την αποφυγή ή ελάττωση των δυσμενών αυτών επιδράσεων κατανοήθηκε η ανάγκη κατασκευής αντιπλημμυρικών έργων με αντικειμενικό σκοπό την ασφαλή διοχέτευση της πλημμυρικής ροής ενός ποταμού διαμέσου της πεδινής κοίτης του μέχρι τον τελικό αποδέκτη, που είναι η θάλασσα ή κάποια λίμνη.

Ως απορροή χαρακτηρίζεται το μέρος εκείνο των βροχοπτώσεων, το οποίο εμφανίζεται εντός των επιφανειακών υδατορευμάτων, παροδικού ή μόνιμου χαρακτήρα.

Ως λεκάνη απορροής χαρακτηρίζεται η επιφάνεια του εδάφους, στην οποία συλλέγονται τα ύδατα της βροχόπτωσης. Η λεκάνη εμφανίζει συνήθως μια θέση εξόδου της παροχής του νερού και τα όρια της λεκάνης καθορίζονται από τους υδροκρίτες διαμέσου των οποίων διαχωρίζεται το νερό της επιφανειακής απορροής.

Ως επιφανειακή απορροή χαρακτηρίζεται εκείνο το μέρος των βροχοπτώσεων - χιονοπτώσεων, το οποίο αρχικά ρέει στην επιφάνεια του εδάφους και στη συνέχεια μέσω του συστήματος των υδατορευμάτων καταλήγει στην έξοδο της λεκάνης απορροής.

Ως χείμαρροι χαρακτηρίζονται τα φυσικά υδατορεύματα που διασχίζουν μια ορεινή λεκάνη και χαρακτηριστικό τους είναι ότι η αυξημένη παροχή και η αυξημένη ταχύτητα ροής τους προκαλεί τη συμπαράσυρση σημαντικής ποσότητας φερτών υλών, από τα πιο χονδρόκοκκα μέχρι τα πιο λεπτόκοκκα υλικά.

Σε κάθε χείμαρρο διακρίνουμε τρία μέρη:

- ***τη λεκάνη απορροής,*** είναι η επιφάνεια του εδάφους που συγκεντρώνει το νερό της βροχής σε μια κοινή κοίτη,

- **το *λαιμό,*** αποτελεί ένα στένωμα από το οποίο ο χείμαρρος χύνεται στην πεδιάδα. Οι όχθες του λαιμού τις περισσότερες φορές είναι απότομες και βραχώδεις. Σ' αυτόν δεν συμβαίνουν ούτε διαβρώσεις ούτε εναποθέσεις. Η μηκοτομή του υδατορεύματος παρουσιάζει ένα σπάσιμο (γόνατο) με μεγάλη κλίση προς τα ανάντη και μικρή προς τα κατάντη,
- ***την πεδινή κοίτη,*** σε αυτή ο χείμαρρος εκφορτώνει τα μεταφερόμενα προϊόντα της διάβρωσης (κώνος προσχώσεων). Σπουδαίος παράγοντας για τη διαμόρφωση της δίαιτας ενός υδατορεύματος είναι το ποσοστό της φυτοκάλυψης της λεκάνης απορροής. Αν η κατάσταση στη λεκάνη απορροής δεν μεταβληθεί με δενδροφύτευση και κατάλληλα τεχνητά έργα, τότε με τις συνεχείς βροχοπτώσεις επέρχεται πλήρης διάβρωση και αποσάθρωση που φθάνει μέχρι το σκληρό υπόστρωμα της λεκάνης, ενώ ο κώνος ανυψώνεται και εξαπλώνεται με καταστρεπτικές συνέπειες.

Για να υπάρχει μια μόνιμη κατάσταση στην κοίτη του χειμάρρου και για να μην διαβρώνεται τόσο ο πυθμένας όσο και οι όχθες του, κατασκευάζονται κατάλληλα έργα, με τα οποία επιδιώκεται μια κλίση ισορροπίας που να ανταποκρίνεται στην ιδιομορφία του υδατορεύματος.

Ως πλημμύρα χαρακτηρίζεται το φαινόμενο εκείνο κατά το οποίο, λόγω της ανεπάρκειας της φυσικής ή τεχνητής κύριας κοίτης ενός υδατορεύματος να διοχετεύσει μια αυξημένη παροχή ύδατος, η στάθμη του ρέοντος ύδατος ανέρχεται με αποτέλεσμα την εξάπλωση των υδάτων στις παρακείμενες περιοχές, οι οποίες χρησιμοποιούνται για παραγωγικούς σκοπούς ή αποτελούν το χώρο εκδηλώσεων της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Ως αντιπλημμυρικά έργα ορίζονται εκείνα τα τεχνικά έργα, τα οποία αποσκοπούν στην προστασία των πεδινών παραγωγικών εκτάσεων, καλλιεργειών και των ανθρωπίνων οικισμών από τις πλημμύρες. Σκοπός τους είναι η προστασία μιας πεδινής περιοχής έναντι των πλημμύρων και η αποφυγή ή η μείωση των συνεπαγόμενων κινδύνων και καταστροφών.

Η αυξημένη παροχή ενός υδατορεύματος είναι αποτέλεσμα είτε μιας ραγδαίας βροχής ή της ταχείας τήξεως του χιονιού ή και των δύο αυτών αιτίων. Η ανεπάρκεια της

κύριας κοίτης ενός υδατορεύματος να διοχετεύσει μια παροχή νερού οφείλεται στους εξής βασικού παράγοντες:

1. Στο περιορισμένο μέγεθος της κύριας κοίτης του υδατορεύματος και στην έλλειψη πλημμυρικών περιοχών εκτόνωσης των πλημμύρων.
2. Στη στερεομεταφορά ως αποτέλεσμα της διάβρωσης του πυθμένα σε ορισμένες περιοχές και της εναπόθεσης φερτών υλών σε άλλες περιοχές με αποτέλεσμα τη μείωση της διατομής της κύρια κοίτης (στενώσεις, μείωση διαθέσιμου βάθους ροής κ.λ.π.)
3. Στη μικρή κλίση του πυθμένα της κοίτης, η οποία μειώνεται ακόμη περισσότερο με την ανάπτυξη του φαινομένου του μαιανδρισμού σε ένα πεδινό υδατόρευμα και
4. Στη μείωση της ταχύτητας ροής με την αύξηση του συντελεστή τραχύτητας λόγω ανάπτυξης φυτών μέσα στην κοίτη, δημιουργίας ανωμαλιών στον πυθμένα της κοίτης από ανομοιόμορφες διαβρώσεις και εναποθέσεις κλπ.

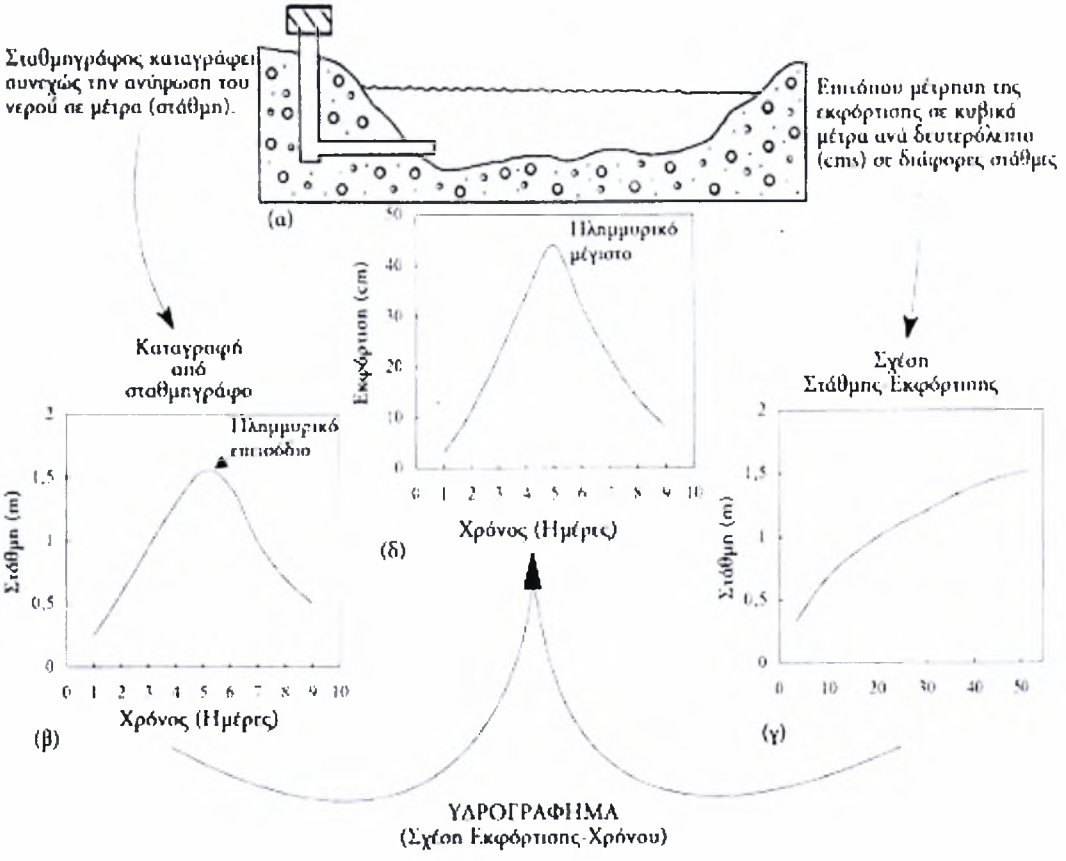
## 1.2 Μέγεθος και συχνότητα πλημμύρων

Το μέγεθος της πλημμύρας σχετίζεται με την ποσότητα και την ένταση της βροχόπτωσης. Οι καταστροφικές πλημμύρες, συχνά, είναι αποτέλεσμα σπάνιων, μεγάλων και έντονων καταιγίδων. Οι μικρότερες πλημμύρες ή ροές που εμφανίζονται πιο συχνά, δημιουργούνται από πιο ασθενείς καταιγίδες. Όλες οι ροές που μπορούν να μετρηθούν ή να υπολογιστούν από σταθμούς μέτρησης υδατορευμάτων (Σχ. 1.1) είναι δυνατόν να καταταγούν ανάλογα με το ποσό της εκφόρτισής τους. Μια πλημμύρα μπορεί να προβλεφθεί από μια καμπύλη εκφόρτισης – συχνότητας (Σχ. 1.2). Μελέτες πολλών υδατορευμάτων και ποταμών έδειξαν ότι οι κοίτες διαμορφώνονται και διατηρούνται από ροές με περίοδο επανάληψης 1,5 με 2 χρόνια [1]. Επομένως, αναμένεται η ανύψωση της στάθμης ενός υδατορεύματος και στην συνέχεια η κατάκλιση τμήματος της πλημμυρικής κοίτης του (κοιλάδας του) με νερό και ιζήματα, περίπου μία φορά το χρόνο.

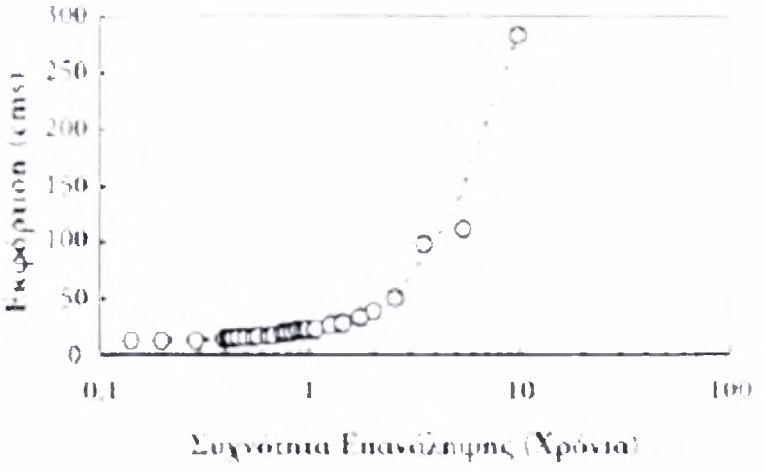
Όσο περισσότερο αυξάνει το χρονικό διάστημα καταγραφής των πλημμύρων, τόσο πιο ακριβής γίνεται η πρόγνωση τους. Παρόλα αυτά για την κατασκευή τεχνικών

έργων που να μπορούν να αντιμετωπίσουν πλημμύρες με περιόδους επανάληψης 10, 25, 50 ή ακόμα και 100 χρόνια, συνυπολογίζεται και ένα ποσοστό λάθους υπέρ της ασφάλειας. Η πρόγνωση μιας πλημμύρας γίνεται με στατιστικές μεθόδους. Θεωρητικά, μια πλημμύρα 25-χρόνων θα συμβεί συνολικά μια φορά κάθε 25 χρόνια, χωρίς αυτό να αποκλείει και την εμφάνιση, δύο πλημμύρων με περίοδο επανάληψης 25 χρόνια στο ίδιο χρονικό διάστημα.

Μπορεί κανείς να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι όσο συνεχίζεται η κατασκευή φραγμάτων, αυτοκινητόδρομων, γεφυρών, σπιτιών και άλλων κατασκευών, στις πλημμυρικές περιοχές ποταμών, θα πρέπει να αναμένονται και ανάλογες καταστροφές.




**Σχήμα 1.1:** Δεδομένα υπαίθρου (α) Από συνεχή καταγραφή της στάθμης του νερού η οποία χρησιμοποιείται για τη σχεδίαση του διαγράμματος στάθμης-χρόνου (β). Οι μετρήσεις υπαίθρου σε διαφορετικές ροές δίνουν το διάγραμμα στάθμης-εκφόρτισης (γ). Στη συνέχεια τα διαγράμματα (β) και (γ) συνδυάζονται για να παραχθεί το τελικό υδρογράφημα (δ).

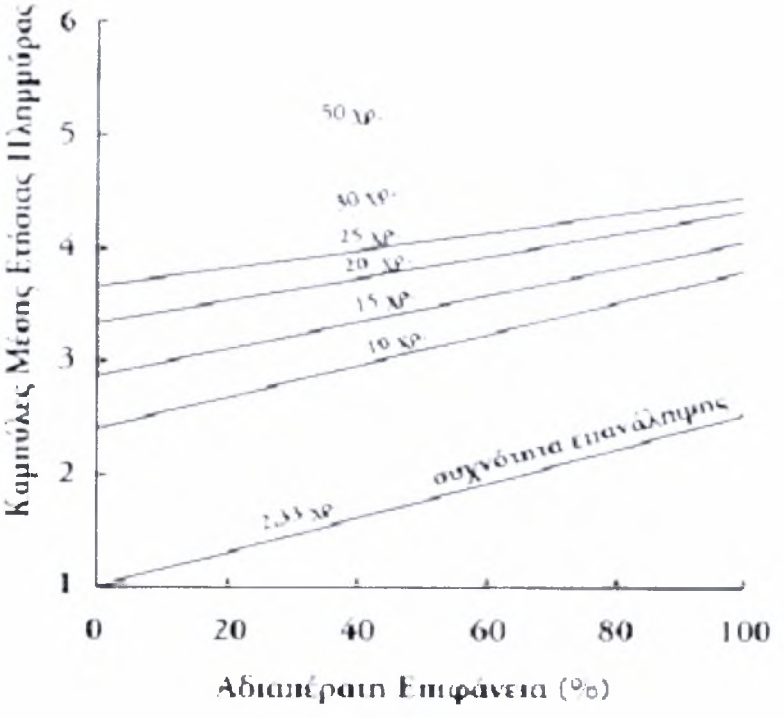



**Σχήμα 1.2:** Καμπύλη εκφόρτισης-συχνότητας πλημμύρων

## 1.3 Αστικοποίηση – Χρήσεις γης και πλημμύρες

Στο αστικό περιβάλλον, η χρήση γης από τον άνθρωπο έχει αυξήσει τόσο το μέγεθος όσο και τη συχνότητα των πλημμύρων σε λεκάνες με μικρή αποστράγγιση. Η αύξηση της συχνότητας των πλημμύρων, είναι συνάρτηση του ποσοστού της αδιαπέρατης επιφάνειας (στέγες, πεζοδρόμια και τσιμέντο) και της περιοχής με δίκτυο αποχέτευσης. Οι υπόνομοι είναι σημαντικοί στην αστική περιοχή, γιατί επιτρέπουν τη γρήγορη επιφανειακή απορροή των αδιαπέρατων επιφανειών στις κοίτες των ρευμάτων. Οι αδιαπέρατες επιφάνειες και οι υπόνομοι παρέχουν ένα μέτρο εκτίμησης του βαθμού αστικοποίησης. Σε γενικές γραμμές, σε μια αστική περιοχή με 40% αδιαπέρατη επιφάνεια και 60% υποστήριξη από δίκτυο αποχέτευσης, πρέπει να αναμένονται τριπλάσιες πλημμύρες από αυτές που υπήρχαν πριν την αστικοποίηση. Η αναλογία αυτή αναφέρεται για μικρής και ενδιάμεσης συχνότητας πλημμύρες. Όσο αυξάνεται το μέγεθος της λεκάνης

αποστράγγισης, οι πλημμύρες με περίοδο επανάληψης περίπου 50 χρόνια δεν επηρεάζονται πολύ από την αστικοποίηση (Σχ. 1.3). [6].




**Σχήμα 1.3:** Καμπύλες μέσης ετήσιας πλημμύρας-αδιαπέρατης επιφάνειας

Οι πλημμύρες και η αστικοποίηση δημιουργούν ένα τεράστιο αριθμό μεταβολών στη σχέση βροχόπτωσης-επιφανειακής απορροής. Οι μέγιστες μεταβολές αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες καταιγίδες. Η επιφανειακή απορροή αυξάνεται με την αστικοποίηση γιατί μικρότερη ποσότητα νερού διεισδύει στο έδαφος, όπως φαίνεται και από τη μείωση του χρόνου μεταξύ της βροχόπτωσης και του μέγιστου της πλημμύρας (χρονική υστέρηση) των αστικών έναντι των αγροτικών περιοχών. Μικρή χρονική υστέρηση, που αναφέρεται ως *"στιγμιαία εκφόρτιση"*, χαρακτηρίζεται από γρήγορη ανύψωση και πτώση της στάθμης του νερού της πλημμύρας. Αφού λίγο νερό κατεισδύει στο έδαφος, η ήδη χαμηλή στάθμη

του νερού που επηρεάζεται κατά την υγρή περίοδο και από την ύπαρξη του υπόγειου νερού, μειώνεται σημαντικά, με αποτέλεσμα να συγκεντρώνονται ευκολότερα κάθε είδους ρυπαντές.

Γενικά, η αστικοποίηση αυξάνει την επιφανειακή απορροή και κατά επέκταση, τον κίνδυνο πλημμύρας. Παρόλα αυτά, σε συγκεκριμένες στιγμές, η σχέση μεταξύ χρήσης γης και πλημμύρας για μικρές λεκάνες αποστράγγισης είναι περίπλοκη. Έρευνες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι, όλοι οι τύποι αστικοποίησης δεν αυξάνουν την επιφανειακή απορροή και τις πλημμύρες.

Όταν η καλλιέργεια (π.χ. σιτηρά) αντικαθίσταται από χαμηλής πυκνότητας ανάπτυξη κατοικιών, η προβλεπόμενη επιφανειακή απορροή και οι πλημμύρες με περίοδο επανάληψης 2-4 χρόνια γίνονται εντονότερες, ενώ αυτές με περίοδο επανάληψης που υπερβαίνει τα 4 χρόνια, μπορεί να είναι λιγότερο έντονες. Η αιτία για αυτήν την υδρολογικού χαρακτήρα αλλαγή, είναι η αντικατάσταση της καλλιέργειας από αδιαπέρατες επιφάνειες και πράσινο, όπου σε σχέση με την αγροτική γη, η επιφανειακή απορροή από τις πρώτες είναι μεγαλύτερη, ενώ από τη δεύτερη μικρότερη. Επομένως, η επίδραση της αλλαγής της χρήσης γης στην επιφανειακή απορροή και στις πλημμύρες γενικότερα, εξαρτάται, από τη φύση και την ένταση της αστικοποίησης και ειδικότερα από την αναλογία ανάμεσα στις αδιαπέρατες και στις καλυμμένες με πράσινο περιοχές. Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι, η αστικοποίηση αυξάνει την επιφανειακή απορροή και τις πλημμύρες στις περισσότερες περιπτώσεις.

## 1.4 Επικινδυνότητα της πλημμύρας

Οι παράγοντες που ελέγχουν τις καταστροφές, οι οποίες προκαλούνται από τις πλημμύρες, είναι οι ακόλουθοι:

1. Η χρήση γης της λεκάνης κατάκλισης,
2. Το μέγεθος (βάθος και ταχύτητα του νερού) και η συχνότητα της πλημμύρας,
3. Ο ρυθμός ανύψωσης και η διάρκεια της πλημμύρας,

4. Η εποχή,
5. Το βάρος ιζημάτων που αποτίθενται και
6. Η αποτελεσματικότητα της πρόβλεψης, της προειδοποίησης και των συστημάτων εκτάκτου ανάγκης.

### 1.4.1 Επιδράσεις της πλημμύρας

Οι επιδράσεις των πλημμύρων μπορεί να είναι άμεσες, που προκαλούνται από την πλημμύρα καθ' αυτή, ή έμμεσες που προκαλούνται από την αποσυγκρότηση ή τη δυσλειτουργία των υπηρεσιών και συστημάτων που σχετίζονται με αυτήν. Τα άμεσα αποτελέσματα είναι τραυματισμοί και θάνατοι καθώς και καταστροφές που προκαλούνται από την ταχύτητα των υδατορευμάτων και των ιζημάτων στα αγροκτήματα, σπίτια, κτίρια, μέσα μεταφοράς, γέφυρες, δρόμους και συστήματα επικοινωνίας. Η διάβρωση και απόθεση των ιζημάτων στις αγροτικές και αστικές περιοχές μπορεί να επιφέρει απώλεια σημαντικού εδάφους και βλάστησης. Οι έμμεσες επιδράσεις περιλαμβάνουν μικρής διάρκειας μόλυνσης των ποταμών, πείνα, αρρώστιες και απομάκρυνση των κατοίκων. Επιπρόσθετα, μπορεί να εκδηλωθούν φωτιές από βραχυκύκλωμα ή από κομμένους αγωγούς αερίων.

## 1.5 Προληπτικά και ρυθμιστικά μέτρα

Τα προληπτικά και ρυθμιστικά μέτρα για τις πλημμύρες εμπεριέχουν διαφορετικές προσεγγίσεις. Η πρόληψη περιλαμβάνει μηχανικές κατασκευές και σχεδιασμούς, όπως:

1. Αναχώματα και τοίχους, που λειτουργούν σαν φυσικά εμπόδια στην υψηλή στάθμη του νερού,
2. Δεξαμενές για αποθήκευση νερού και απελευθέρωσή του με ασφαλείς ρυθμούς,

3. Συστήματα επί τόπου κράτησης του νερού των καταιγίδων ή δημιουργία λεκανών συγκράτησης και
4. Διαμόρφωση της κοίτης με σκοπό την αύξηση του μεγέθους της για γρηγορότερη απομάκρυνση του νερού.

Ένα μεγάλο πρόβλημα που συνδέεται με τα τεχνικά έργα πρόληψης είναι ότι δημιουργούν μια εσφαλμένη αίσθηση ασφάλειας, η οποία οδηγεί στην αστικοποίηση της λεκάνης κατάκλισης. Έτσι, τα ρυθμιστικά μέτρα πρέπει να περιλαμβάνουν διαμόρφωση της λεκάνης κατάκλισης για την αντιμετώπιση μιας πλημμύρας.

Από περιβαλλοντική άποψη, στις αστικές περιοχές, η ελαχιστοποίηση των καταστροφών από τις πλημμύρες πραγματοποιείται με τη διαμόρφωση της λεκάνης κατάκλισης. Αυτό δε σημαίνει ότι τα φυσικά εμπόδια και οι δεξαμενές των κοιτών δεν είναι αναγκαία. Αντίθετα, στις περιοχές όπου οι λεκάνες κατάκλισης έχουν αστικοποιηθεί είναι απαραίτητα, ώστε να προστατευθούν οι ανθρώπινες ζωές και περιουσίες. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η πιο ρεαλιστική, αποτελεσματική και πρακτική λύση είναι ο συνδυασμός των φυσικών εμποδίων - φραγμάτων και της διαμόρφωσης της λεκάνης κατάκλισης, έχοντας πάντα ως στόχο τις λιγότερες φυσικές μεταβολές του ποτάμιου συστήματος. Για παράδειγμα, μια λογική χρήση γης της λεκάνης κατάκλισης σε συνδυασμό με ένα πρόγραμμα διαμόρφωσης της κοίτης ή μιας δεξαμενής στα ανάντη μπορεί να οδηγήσει σε δημιουργία μικρότερης κοίτης από αυτή πού θα ήταν απαραίτητη, αν κανένας περιορισμός στη χρήση γης δεν είχε οριστεί για τη λεκάνη κατάκλισης.

Ο σκοπός της διαμόρφωσης της λεκάνης κατάκλισης είναι να καταστεί όσο το δυνατόν πιο ωφέλιμη η χρήση της, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις καταστροφές από τις πλημμύρες και φυσικά το κόστος προστασίας των περιοχών. Εγκατάλειψη της λεκάνης κατάκλισης, η οποία αποτελεί μια μεγάλης αξίας φυσική πηγή, μπορεί να προκαλέσει ανθρώπινες απώλειες και τεράστιες καταστροφές. Ένα προκαταρκτικό βήμα για τη διαμόρφωση αυτή, είναι η χαρτογράφηση περιοχών πλημμυρικής επικινδυνότητας, η οποία είναι ένα μέσο που παρέχει πληροφορίες για τη λεκάνη κατάκλισης και το σχεδιασμό χρήσης γης. Αυτοί οι χάρτες μπορεί να απεικονίζουν παλαιές πλημμύρες ή

πλημμύρες ιδιαίτερης περιόδου, π.χ. 100-χρόνων, και είναι χρήσιμοι, γιατί ουσιαστικά παρέχουν οδηγίες για τη μελλοντική χρήση γης στη λεκάνη κατάκλισης.

Ο σχεδιασμός χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας για μια ιδιαίτερη λεκάνη αποστράγγισης μπορεί να αποβεί δύσκολος και δαπανηρός. Γενικά, οι χάρτες αυτοί, παράγονται από ανάλυση των δεδομένων ροής του υδατορεύματος, από αξιόπιστους σταθμούς με αρκετά χρόνια καταγραφής. Παρόλα αυτά, τα δεδομένα ροής δεν είναι διαθέσιμα σε πολλές περιπτώσεις, ειδικά όταν πρόκειται για μικρά υδατορεύματα, κι έτσι πρέπει να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές πηγές δεδομένων για να εκτιμηθεί η πλημμυρική επικινδυνότητα.

Οι πλημμύρες μπορούν να χαρτογραφηθούν από αεροφωτογραφίες που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια πλημμύρων ή μπορούν να υπολογιστούν από την ανώτατη στάθμη του νερού και από τις αποθέσεις των πλημμύρων στην λεκάνη κατάκλισης που μετρήθηκαν στην ύπαιθρο μετά την υποχώρηση του νερού.

Προσεκτική μελέτη των εδαφών και της βλάστησης μπορεί, επίσης, να βοηθήσει στην εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας. Τα εδάφη στις λεκάνες κατάκλισης είναι συχνά διαφορετικά από τα εδάφη στα ανάντη, και με ευνοϊκές συνθήκες, συγκεκριμένα εδάφη μπορούν να συσχετιστούν με πλημμύρα γνωστής συχνότητας. Ο τύπος της βλάστησης μπορεί να διευκολύνει την εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας καθώς συχνά υπάρχει μια ζώνωση της βλάστησης στις ποτάμιες κοιλάδες που μπορεί να συσχετιστεί με ζώνες πλημμύρας [6]. Κάποιοι τύποι δέντρων με ρηχές ρίζες απαιτούν άφθονη τροφοδοσία νερού και επωφελούνται από συχνή κατάκλιση. Συνήθως, τα δέντρα αυτά βρίσκονται δίπλα στις όχθες υδατορευμάτων, τα οποία συχνά πλημμυρίζουν. Άλλα είδη δέντρων περιορίζονται σε καλής αποστράγγισης εδάφη, χωρίς συχνές ή παρατεταμένες πλημμύρες. Παρότι η ζώνωση της βλάστησης βοηθάει στην εκτίμηση των υποκείμενων της πλημμύρας περιοχών, τα αίτια της είναι πολύπλοκα και δεν προέρχονται απ' ευθείας από την πλημμύρα. Επομένως, η χρήση της βλάστησης, μπορεί να συνδυαστεί και με άλλες μεθόδους εκτίμησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας, όπως δεδομένα από δορυφορικές εικόνες, αεροφωτογραφίες, ιστορικές καταγραφές και στοιχεία της λεκάνης κατάκλισης.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της εκτίμησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας τόσο στα ανάντη όσο και στα κατάντη από απ' ευθείας παρατηρήσεις ή από κατασκευές στη λεκάνη αποστράγγισης και στην κοιλάδα του ποταμού, είναι η αξιοπιστία και η μείωση του κόστους (παρατεταμένες μετρήσεις ροής κοστίζουν περισσότερο και σε πολλές περιπτώσεις είναι ανέφικτες).

Στις αστικές περιοχές, η ακρίβεια της χαρτογράφησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας, η οποία βασίζεται εξολοκλήρου σε δεδομένα ροής υδατορευμάτων είναι αμφισβητήσιμη. Ένας βελτιωμένος χάρτης μπορεί να παραχθεί υποθέτοντας την ύπαρξη αστικών συνθηκών με προϋπολογισμένο το ποσοστό των αδιαπέρατων επιφανειών. Επομένως, ένας θεωρητικός χάρτης μπορεί να παραχθεί π.χ. για πλημμύρες με περίοδο επανάληψης 100-χρόνια. Δύο είναι οι τομείς που χαρτογραφούνται στην περιοχή πλημμυρικής επικινδυνότητας, η περιοχή των διαδρόμων ροής και η περιοχή στα άκρα αυτών των διαδρόμων [6]. Η περιοχή των διαδρόμων ροής είναι το τμήμα της κοίτης και της πλημμυρικής λεκάνης ενός ρεύματος, το οποίο αποτελεί το πέρασμα της πλημμύρας με περίοδο 100-χρόνια χωρίς να αυξήσει τη στάθμη της πλημμύρας περισσότερο από 0.3 μέτρα. Σε αυτή την περιοχή, οι επιτρεπόμενες χρήσεις γης είναι οι καλλιέργειες, οι βοσκότοποι, τα εξωτερικά φυτώρια, τα άσυλα άγριων ζώων, οι παιχνιδότοποι, οι περιοχές φορτοεκφόρτωσης και οι περιοχές στάθμευσης αυτοκινήτων. Επιτρεπόμενες χρήσεις, αρκεί να είναι 8 μέτρα μακριά από το κανάλι του ρεύματος, είναι η περιοχή αναψυχής, οι γέφυρες, η αποχέτευση των νερών των καταιγίδων, οι δρόμοι, κλπ. [6]. Προσωρινές χρήσεις για ορισμένες συγκεκριμένες δραστηριότητες, όπως φράγματα, μαρίνες, χώροι προβολής έργων τέχνης, κ.ά., εάν είναι κατασκευασμένα σύμφωνα με τις προδιαγραφές είναι, επίσης, επιτρεπόμενες. Άλλες χρήσεις της περιοχής αυτής, όπως ανοικτές αποθήκες εργαλείων ή υλικών, κατασκευές σχεδιασμένες για ανθρώπινες κατοικίες ή υπόγειες αποθήκες καυσίμων ή εύφλεκτων υγρών, απαιτούν ειδικές προδιαγραφές.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά οι μέθοδοι αντιμετώπισης των πλημμύρων και τα βασικότερα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά των πλημμύρων και μέθοδοι αντιμετώπισής τους.

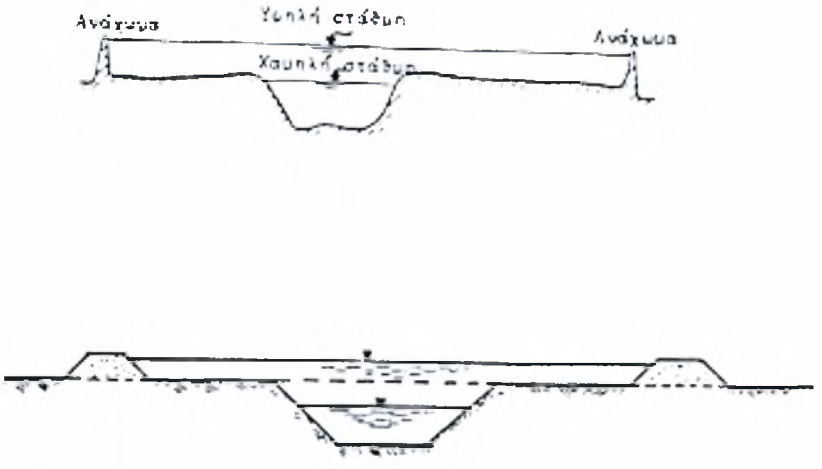
| **Χαρακτηριστικά πλημμύρων** | **Μέθοδοι Αντιμετώπισης** | |
|---|---|---|
| | **Τεχνικές** | **Μη τεχνικές** |
| **Βάθος** | Αναχώματα, Φράγματα | Νομικό πλαίσιο |
| **Διάρκεια** | Τοίχοι ανάσχεσης | Κατασκευαστικός κώδικας |
| **Εκταση** | Αλλαγή παροχετευτικής ικανότητας του υδατορεύματος (βάθος, πλάτος, κλίση, κλπ.) | Ανανέωση κτισμάτων |
| **Ταχύτητα ροής** | Καθαρισμός της κοίτης | Μόνιμη εκκένωση |
| **Χρόνος υστέρησης των ρευμάτων (ανάντη)** | Μικρά ανασχετικά φράγματα στις πηγές | Αναγκαστική απαλλοτρίωση για δημιουργία διαδρόμου ροής, κλπ. |
| **Μέγιστη ροή** | Μεγάλο φράγμα (κατάντη) | Προειδοποιητικά σήματα |
| **Ποσότητα ιζημάτων** | Σταθεροποίηση των πρανών | Ασφάλιση κατά πλημμύρας |

## 1.6 Συνοπτική παρουσίαση των κυριότερων αντιπλημμυρικών έργων

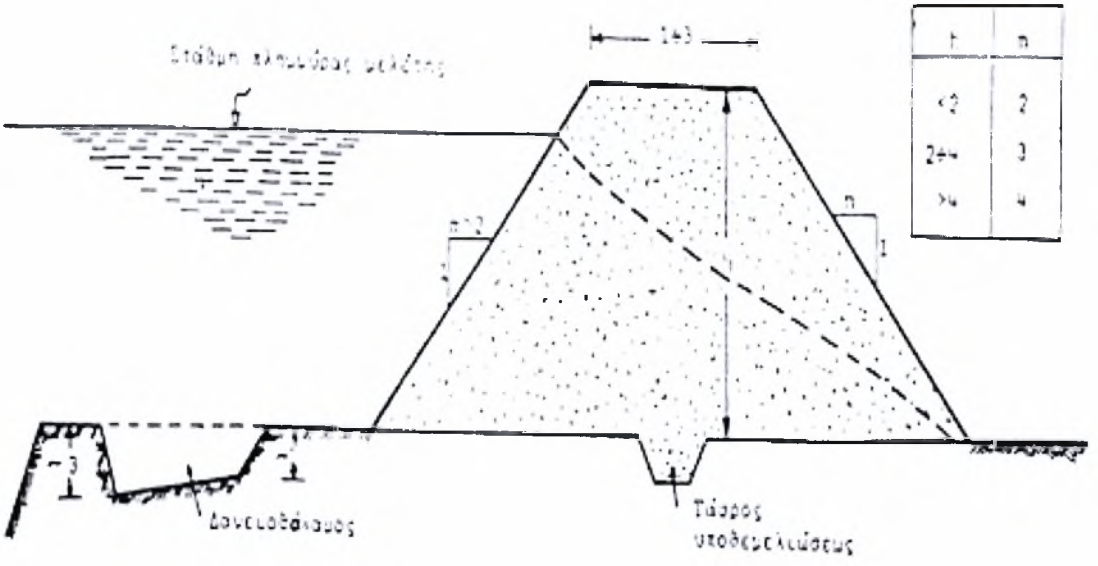
### 1.6.1 Προστατευτικοί τοίχοι και αναχώματα

Η κατασκευή προστατευτικών αναχωμάτων ή τοίχων αποτελεί την αρχαιότερη και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο αντιπλημμυρικής προστασίας σε πεδινές περιοχές. Ουσιαστικά, πρόκειται για διαμήκη φράγματα, τα οποία κατασκευάζονται παράλληλα με την κοίτη του ποταμού και έχουν ως στόχο τον περιορισμό της ροής των πλημμυρικών υδάτων στη διαμορφούμενη κοίτη, προστατεύοντας έτσι τις εκατέρωθεν περιοχές. Τα

αναχώματα (Σχ.1.4 και Σχ.1.5) κατασκευάζονται από εδαφικό υλικό, ενώ οι προστατευτικοί τοίχοι είναι κατασκευές από σκυρόδεμα .




**Σχήμα 1.4:** Σχηματικές τυπικές διατομές φυσικών υδατορευμάτων με αντιπλημμυρικά αναχώματα




**Σχήμα 1.5:** Τυπική διατομή αντιπλημμυρικού αναχώματος

Τα αναχώματα είναι τα συνήθη χρησιμοποιούμενα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας, διότι κατασκευάζονται με σχετικά μικρό κόστος υλικών. Το υλικό με το οποίο κατασκευάζονται είναι γεώδες, που λαμβάνεται από επιτόπου δανειοθαλάμους παράλληλους με το επίχωμα και τοποθετείται σε στρώσεις, όπου συμπυκνώνεται κατάλληλα. Η κλίση των πρανών εξαρτάται από το υλικό κατασκευής, το ύψος του αναχώματος και την πλημμύρα που καλείται να αντιμετωπίσει. Η διατομή του αναχώματος είναι τραπεζοειδής, με πλάτος στέψεως 1-3 μέτρα. Από τα γεωμετρικά στοιχεία των αναχωμάτων εξαρτάται και η θέση της γραμμής διήθησης, η οποία, κανονικά, δε θα πρέπει να τέμνει την εξωτερική παρειά του αναχώματος. Σε διαφορετική περίπτωση, θα πρέπει να κατασκευαστεί στραγγιστήριο κατά μήκος του πόδα της εξωτερικής παρειάς.

Το ύψος των αναχωμάτων και η μεταξύ τους απόσταση είναι στενά αλληλένδετα, με στόχο τη διαμόρφωση μιας πλημμυρικής κοίτης ικανής να διοχετεύσει την παροχή της

αιχμής της πλημμύρας σχεδιασμού, με επαρκές περιθώριο ασφάλειας έναντι κυματισμών και αβεβαιοτήτων στον προσδιορισμό της πλημμύρας σχεδιασμού. Στον τελικό προσδιορισμό του ύψους συνυπολογίζονται και οικονομικά κριτήρια, καθότι στο κόστος κατασκευής των αναχωμάτων θα πρέπει να προστεθεί και το κόστος των απαλλοτριώσεων. Λαμβάνοντας υπόψη τους ανωτέρω παράγοντες με διαφορετικές προσεγγίσεις είναι δυνατό να προσδιοριστεί ο συνδυασμός του ύψους αναχωμάτων και της μεταξύ τους απόστασης, ο οποίος απαιτεί τη μικρότερη συνολική δαπάνη.

Κατά την κατασκευή του αναχώματος και πριν την τοποθέτηση του υλικού κατασκευής, αφαιρείται το επιφανειακό στρώμα του εδάφους και ανοίγεται μία τάφρος υποθεμελίωσης, η οποία πληρώνεται με υλικό καλής ποιότητας. Η κατασκευή των αναχωμάτων πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τις αρχές της Εδαφομηχανικής, καθότι η σπουδαιότητά τους είναι μεγάλη και η ευστάθειά τους ζωτική.

Τα αναχώματα περιορίζουν την περιοχή ροής στον χώρο μεταξύ των αναχωμάτων, με αποτέλεσμα την άνοδο της στάθμης στην περιοχή αυτή. Η αύξηση της διοχετευτικότητας της διατομής των υδατορευμάτων, η οποία, συνήθως συνοδεύει την κατασκευή των αναχωμάτων, οδηγεί σε αύξηση της ταχύτητας. Αυτό το γεγονός, σε συνδυασμό με το ότι παρατηρείται ανύψωση της στάθμης στην προστατευόμενη περιοχή, μπορεί να οδηγήσει σε πλημμύρες στις κατάντη περιοχές. Επομένως, θα πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα στις συνέπειες της κατασκευής των αναχωμάτων, η οποία θα πρέπει να συνδυάζει και όλες τις ιδιαιτερότητες της υπό μελέτη περιοχής.

Σε περιπτώσεις υδατορευμάτων που διέρχονται εντός οικισμών για την αντιπλημμυρική προστασία κατασκευάζονται τοίχοι καθώς η έκταση για την κατασκευή των αναχωμάτων δεν υπάρχει. Επίσης σε αυτές τις περιοχές επιδιώκεται η διαμόρφωση λείας επιφάνειας με στόχο τη μείωση του συντελεστή τραχύτητας, την αύξηση της ταχύτητας ροής και τη μείωση του βάθους ροής και τέλος της επίτευξη καλύτερης αισθητικής διαμόρφωσης της περιοχής.

### 1.6.2 Διαμόρφωση της κοίτης του υδατορεύματος

Η μείωση της στάθμης ενός πλημμυρικού κύματος και ο περιορισμός της ροής στην κύρια κοίτη ενός υδατορεύματος μπορεί να επιτευχθεί με τη βελτίωση των συνθηκών ροής του νερού μέσα στο υδατόρευμα. Αυτό επιτυγχάνεται με την αύξηση της διατομής της κύριας κοίτης σε ένα υδατόρευμα και με την αύξηση της ταχύτητας ροής σε αυτή. Ακολούθως, γίνεται παρουσίαση των δύο αυτών κατηγοριών έργων:

- ***Αύξηση της διατομής της κύριας κοίτης***

Η βελτίωση των συνθηκών ροής με την αύξηση της διατομής της κύριας κοίτης μπορεί να εφαρμοστεί σε περιορισμένη έκταση και κυρίως σε μικρά υδατορεύματα, τα οποία, με τη λήψη των κατάλληλων μέτρων, δεν παρουσιάζουν κίνδυνο από προσχώσεις με φερτά υλικά. Τα προϊόντα της διαπλάτυνσης ή της εκβάθυνσης της κοίτης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για υπερύψωση των εκατέρωθεν της κοίτης αναχωμάτων (Σχ. 1.6). Αύξηση του βάθους χωρίς την ταυτόχρονη διευθέτηση του πλάτους έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των ταχυτήτων και των διατμητικών τάσεων και συνεπώς και της ικανότητας στερεοπαροχής. Έτσι προκαλούνται συνεχείς εναποθέσεις στις περιοχές των εκβαθύνσεων και απαιτούνται συνεχείς δαπανηρές συντηρήσεις με βυθοκορήσεις.

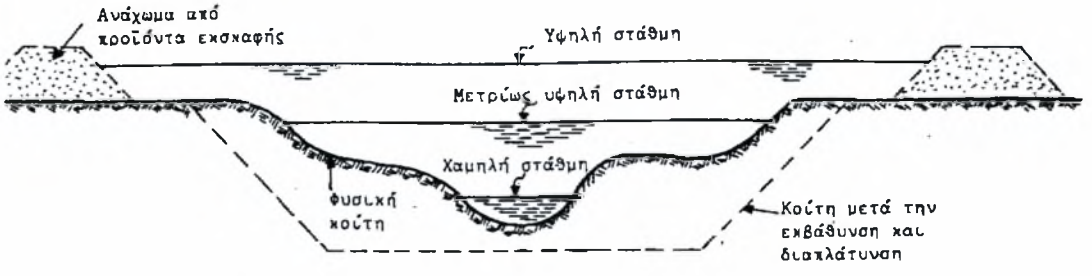
- ***Αύξηση της ταχύτητας ροής***

Η βελτίωση των συνθηκών ροής με την αύξηση της ταχύτητας ροής σε ένα υδατόρευμα μπορεί να γίνει με τους τρεις ακόλουθους τρόπους:

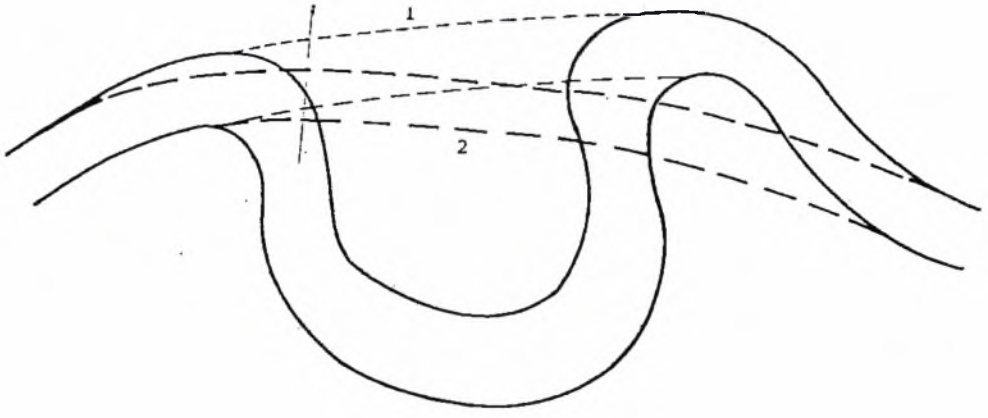
1. Με τη μείωση του συντελεστή τραχύτητας του Manning (n). Η αφαίρεση των αναπτυσσόμενων εντός της κοίτης φυτών, η εξομάλυνση του πυθμένα της κοίτης, η ευθυγράμμιση της κοίτης και η επένδυση της κοίτης σε περιπτώσεις υδατορεύματος μέσα από οικισμούς, προκαλούν μείωση του συντελεστή τραχύτητας και αύξηση της ταχύτητας ροής,
2. Με την αύξηση της υδραυλικής ακτίνας. Αυτό επιτυγχάνεται, κυρίως, με την αύξηση του βάθους της διατομής,

3. Με την αύξηση της κλίσης του πυθμένα. Έχοντας σταθερά τα υψόμετρα των άκρων ενός τμήματος υδατορεύματος, η αύξηση μπορεί να γίνει με τη μείωση του μήκους του. Το μέτρο μπορεί να εφαρμοστεί σε ποταμούς που εμφανίζουν έντονο μαιανδρισμό (Σχ. 1.7) .

Τα αντιπλημμυρικά έργα αυτής της κατηγορίας, με αύξηση της διοχετευτικής ικανότητας της κύριας κοίτης, έχουν τοπική επίδραση και μπορούν σε πολλές περιπτώσεις να επαυξήσουν το μέγεθος της προκαλούμενης πλημμύρας στις κατάντη περιοχές. Αυτό συμβαίνει λόγω της γρήγορης διέλευσης του νερού από την προστατευόμενη περιοχή και τη μείωση του αποθηκευμένου όγκου νερού. Για το λόγο αυτό, τα μέτρα της κατηγορίας αυτής θα πρέπει να αποτελούν μέρος ενός γενικότερου προγράμματος με στόχο την αντιπλημμυρική προστασία, ώστε η αποφυγή της πλημμύρας σε μία περιοχή να δημιουργεί πλημμύρα σε μία άλλη.




**Σχήμα 1.6:** Αύξηση της διατομής της κοίτης ενός υδατορεύματος με εκβάθυνση και διαπλάτυνση




**Σχήμα 1.7:** Αύξηση της κλίσης του πυθμένα μαιανδρίζοντα ποταμού :
(1) με σύντμηση κατά τον λαιμό ενός μαιάνδρου ή
(2) με δραστικότερη διευθέτηση κατά ελαφρώς καμπυλόγραμμη διαδρομή

### 1.6.3 Ταμιευτήρες αποθήκευσης νερού

Ο ρόλος των ταμιευτήρων αποθήκευσης νερού στην αντιπλημμυρική προστασία μιας περιοχής έγκειται στη αποθήκευση τμήματος της ροής με τρόπο τέτοιο, ώστε να ελαχιστοποιείται η αιχμή της πλημμύρας στη θέση που ζητείται να προστατευτεί. Επιτυγχάνεται μία προσωρινή αποθήκευση μέρους του όγκου της πλημμύρας και ακολουθεί επιβράδυνση της απορροής. Στην ιδανική περίπτωση, κατά την οποία λόγοι οικονομικοί και περιβαλλοντικοί το επιτρέπουν, ο ταμιευτήρας τοποθετείται ακριβώς ανάντη της περιοχής προστασίας. Η λειτουργία του γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο: κατά την έναρξη της πλημμύρας, η εκροή γίνεται ίση με την εισροή στον ταμιευτήρα, έως το σημείο που θα προσεγγίσει τη μέγιστη παροχή που μπορεί να διοχετεύσει με ασφάλεια κατάντη. Το τμήμα της παροχής που πλεονάζει, πέραν της τιμής αυτής, στη συνέχεια αποθηκεύεται στον ταμιευτήρα και απελευθερώνεται κατόπιν, όταν οι συνθήκες ροής

επανέλθουν στο αρχικό τους στάδιο. Εκτός από την παραπάνω τοποθέτηση, ο ταμιευτήρας μπορεί και να τοποθετηθεί και σε σημαντική απόσταση από την περιοχή προστασίας. Στην περίπτωση αυτή μεσολαβεί ενδιάμεση εισροή από άλλα υδατορεύματα και πρέπει η λειτουργία του ταμιευτήρα να ρυθμιστεί με τέτοιον τρόπο, ώστε να επιτευχθεί ασφαλής παροχή στην περιοχή προστασίας. Δύο είναι οι βασικοί τύποι ταμιευτήρων αποθήκευσης νερού που χρησιμοποιούνται για αντιπλημμυρική προστασία:

1. Λεκάνες συγκράτησης της πλημμυρικής αιχμής, όπου η εκροή γίνεται ελεύθερα και ρυθμίζεται από τη στάθμη του αποθηκευμένου από το φράγμα νερού,
2. Λεκάνες αποθήκευσης, οι οποίες είναι πολλαπλών χρήσεων και έχουν ως έργα εξόδου συνήθως θυροφράγματα.

Η εφαρμογή των ταμιευτήρων αποθήκευσης νερού ως επιλογή για τον αντιπλημμυρικό σχεδιασμό απαιτεί μεγάλο κόστος κατασκευής, συντήρησης και λειτουργίας.

### 1.6.4 Δίοδοι ανακουφίσεως πλημμύρων (Floodways)

Οι δίοδοι ανακουφίσεως των πλημμύρων μπορούν να συμβάλουν με δύο τρόπους στην αντιπλημμυρική προστασία. Πρώτα δημιουργούν μεγάλους αβαθείς ταμιευτήρες, στους οποίους αποθηκεύεται ένα τμήμα της παροχής και κατά δεύτερο, παρέχοντας μία δεύτερη διέξοδο του νερού, αυξάνεται η ταχύτητα και μειώνεται η στάθμη για σημαντική απόσταση από το σημείο εκτροπής.

Η χρήση των διόδων ανακουφίσεως του νερού γίνεται, συνήθως, μόνο κατά τη διάρκεια μεγάλων πλημμύρων. Το έδαφος κατάκλισης χρησιμοποιείται μόνο για γεωργικούς σκοπούς, χωρίς να επιτρέπεται η εκτέλεση μόνιμων εγγειοβελτιωτικών έργων.

### 1.6.5 Έργα διαχείρισης ορεινών λεκανών και διευθετήσεως χειμάρρων

Με τον όρο ορεινή λεκάνη απορροής ορίζεται το τμήμα εκείνο της λεκάνης απορροής στο οποίο η ροή στα φυσικά υδατορεύματα είναι υπερκρίσιμη, δηλαδή ο

αριθμός Froude είναι Fr>1.0. Τα φυσικά αυτά υδατορεύματα που διασχίζουν μια ορεινή λεκάνη ονομάζονται ***φυσικοί χείμαρροι*** και χαρακτηριστικό τους είναι ότι η αυξημένη παροχή και η αυξημένη ταχύτητα ροής τους προκαλεί την συμπαράσυρση σημαντικής ποσότητας φερτών υλών, από τα πιο λεπτόκοκκα μέχρι και τα πιο χονδρόκοκκα υλικά.

Τα έργα που εφαρμόζονται στην περίπτωση αυτή έχουν ως κύριο στόχο τη μείωση της διάβρωσης της ορεινής λεκάνης, την αύξηση της διήθησης και τη μείωση της ταχύτητας ροής. Τα κυριότερα έργα που εφαρμόζονται είναι τα ακόλουθα:

1. Φυτοκάλυψη της επιφάνειας του εδάφους για μείωση της διάβρωσης, μείωση της ταχύτητας απορροής και αύξηση της ικανότητας διήθησης του εδάφους,
2. Κατάλληλη χρήση του εδάφους ανάλογα με την κλίση και τη σύσταση του και
3. Έργα διευθετήσεως των ορεινών χειμάρρων με τα οποία επιδιώκεται η μείωση της διαβρωτικής ικανότητας του νερού και των μεταφερόμενων φερτών από αυτό. Επίσης, επιβραδύνεται η προς τα κατάντη κίνηση του νερού και συνεπώς αυξάνει η χρονική βάση του πλημμυρικού υδρογραφήματος και μειώνεται η παροχή. Στα έργα αυτά περιλαμβάνονται:

*α) Εγκάρσια έργα, Αναβαθμοί και Φράγματα*

Με τα έργα αυτά επιτυγχάνεται η μείωση της κλίσης του πυθμένα του υδατορεύματος και κατά συνέπεια μειώνεται η ταχύτητα ροής και η συρτική δύναμη του νερού. Επίσης τα αυτά τα έργα συγκρατούν τα χονδρόκοκκα φερτά υλικά. Τέτοια έργα κατασκευάζονται με κλαδοπλέγματα, ξηρολιθιά ή συρματοκιβώτια και με λιθοδομή ή σκυρόδεμα για μεγαλύτερα υδατορεύματα με σημαντική παροχή. Η κλιμάκωση ενός τμήματος της κοίτης μπορεί να γίνει είτε με την κατασκευή μικρού αριθμού υψηλών φραγμάτων είτε με περισσότερα φράγματα μικρότερου ύψους. Η πρώτη λύση πλεονεκτεί στο γεγονός ότι αποδίδει μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθήκευσης των φερτών υλών. Η δεύτερη όμως λύση πλεονεκτεί στο γεγονός ότι όσο μικρότερο είναι το ύψος πτώσεως του νερού τόσο πιο εύκολη είναι η προστασία της κατάντη του φράγματος κοίτης από αναμενόμενες υποσκαφές και επίσης μειώνονται οι κίνδυνοι μερικής ή ολικής καταστροφής ενός φράγματος.

*β) Παράλληλα έργα*

Τα έργα αυτά έχουν σκοπό την προστασία των όχθεων του υδατορεύματος από διαβρώσεις και πιθανές κατολισθήσεις και εκτρέπουν την πορεία του νερού. Διακρίνονται σε έργα παράλληλα και εφαπτομενικά με τις όχθες, με τα οποία επιδιώκεται η προστασία των όχθεων (κλαδοπλέγματα, συρματοκιβώτια, επενδύσεις με λιθοδομή ή σκυρόδεμα, κατακόρυφοι τοίχοι από λιθοδομή ή σκυρόδεμα) και στα έργα που κατασκευάζονται με κλίση προς την ακτή και είναι οι πρόβολοι. Με τους προβόλους επιδιώκεται η απομάκρυνση της ροής από μια όχθη και ο σχηματισμός νέας όχθης κατά μήκος του άκρου του προβόλου. Συνήθως κατασκευάζονται πρόβολοι σε σειρά καθώς τα φερτά υλικά εναποτίθεται κυρίως στο χώρο μεταξύ των προβόλων.

*γ) Έργα επένδυσης της κοίτης*

Στην περίπτωση των χειμάρρων σε ορεινές περιοχές η επένδυση της κοίτης εφαρμόζεται σε περιορισμένο μήκος με σκοπό την προστασία της κοίτης από διαβρώσεις και στις περιπτώσεις αυτές συνίσταται η χρήση υλικών επένδυσης που ταιριάζουν με το περιβάλλον της περιοχής. Επίσης, η επένδυση της κοίτης εφαρμόζεται σε περιοχές που ο χείμαρρος διέρχεται μέσα από κατοικημένη περιοχή με σκοπό την αύξηση της ταχύτητας ροής και τη μείωση του βάθους ροής .

Τα έργα διαχείρισης των ορεινών λεκανών και διευθετήσεως χειμάρρων παρέχουν σημαντική προστασία από τις πλημμύρες και εφαρμόζονται με τη μορφή της πρόληψης. Ο έλεγχος της πλημμύρας και η βελτίωση της αποστράγγισης είναι τα δύο πιο συχνά θέματα που αντιμετωπίζονται στα προγράμματα διαμόρφωσης ανοικτών καναλιών. Οι παραπάνω μέθοδοι αποτελούν τις κατευθυντήριες γραμμές για τη σύγχρονη και ορθολογική αντιμετώπιση των πλημμύρων, ιδίως στη χώρα μας, τόσο από τεχνική όσο και από περιβαλλοντική άποψη.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2$^{ο}$

# ΜΕΛΕΤΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΟΣ ΑΝΑΥΡΟΥ

## 2.1 Γενικά

Ο χείμαρρος Άναυρος βρίσκεται στο νομό Μαγνησίας. Πιο συγκεκριμένα, ξεκινάει από το Πυργάκι του όρους Πηλίου, διασχίζει την ανατολική πλευρά της πόλης του Βόλου και καταλήγει στον Παγασητικό κόλπο. Το γεγονός της ύπαρξης ενός τμήματος του ποταμού Αναύρου μέσα στο Βόλο καθιστά σημαντική την επάρκεια της φυσικής ή τεχνητής κοίτης του υδατορεύματος να διοχετεύσει τη μέγιστη παροχή νερού, την οποία και προσδιορίζουμε μέσα από υδραυλικούς υπολογισμούς. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:5000, οι οποίοι παραχωρήθηκαν από τη Νομαρχία Μαγνησίας [1], καθώς και ο υδρολογικός χάρτης της περιοχής του Αναύρου, ο οποίος εδόθη από τη Δημόσια Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Βόλου.

Στο κεφάλαιο αυτό προσδιορίζουμε τα φυσικά χαρακτηριστικά της κάθε κύριας υπολεκάνης απορροής και ολόκληρης της λεκάνης απορροής του υπό μελέτη φυσικού υδατορεύματος, προκειμένου να εφαρμόσουμε την ορθολογική μέθοδο υπολογισμού της μέγιστης παροχής για πλημμύρες 10, 25, 50, 100, και 1000 ετών.

## 2.2 Προσδιορισμός των φυσικών χαρακτηριστικών της κάθε κύριας υπολεκάνης απορροής και ολόκληρης της λεκάνης απορροής.

Ο υπολογισμός της γεωμετρίας του χειμάρρου Αναύρου προκύπτει από την οριζοντιογραφία της περιοχής, την οποία διασχίζει ο ποταμός. Με βάση τους τοπογραφικούς χάρτες , 5317/2, 5317/3, 5317/4 και 5318/1, της τοπογραφικής υπηρεσίας Στρατού, σε κλίμακα 1:5000 [1] , προσδιορίστηκαν οι υπολεκάνες Α1, Α2, Α3, οι οποίες αναπαριστούνται με πράσινη, λεπτή, συνεχή γραμμή και οι κύριες λεκάνες απορροής, Α4 και Α5, οι οποίες αναπαριστούνται με πράσινη, παχιά, συνεχή γραμμή. Το κυρίως υδατόρευμα του Αναύρου φαίνεται με μπλε, συνεχή γραμμή και οι κύριες εισροές σε αυτό, με μπλε, διακεκομμένη γραμμή. Η γενική κάτοψη της περιοχής μελέτης σε κλίμακα 1:50000 παρατίθεται στο (Παράρτημα Α).

Στην συνέχεια, οι υπολεκάνες εμβαδομετρήθηκαν και τα αποτελέσματα για κάθε υπολεκάνη είναι τα εξής : Α1= 5,363 Km $^2$, Α2= 3,328 Km $^2$, Α3= 2,043 Km $^2$, ενώ για κάθε κύρια λεκάνη είναι : Α4= 1,102 Km $^2$ , Α5=1,31 Km $^2$.

Επιπρόσθετα, μετρήθηκαν τα μήκη διαδρομής νερού στη φυσική κοίτη τα οποία είναι : L1=5,600 Km, L2=5,750 Km, L3= 3,000 Km για τις υπολεκάνες απορροής Α1, Α2 και Α3 αντίστοιχα.

Τέλος, προσδιορίστηκαν από τους χάρτες τα μέσα υψόμετρα των λεκανών απορροής H1=770 m, H2=444 m, H3=386 m για τις υπολεκάνες απορροής Α1, Α2 και Α3 αντίστοιχα.

Τα παραπάνω στοιχεία που συλλέξαμε θα χρησιμοποιηθούν για τους υδραυλικούς υπολογισμούς, οι οποίοι παρατίθενται σε συγκεντρωτικούς πίνακες σε επόμενη παράγραφο.

## 2.3 Υδραυλικοί υπολογισμοί με βάση την ορθολογική μέθοδο χωρίς τη χρήση υδρογραφήματος

Η αιχμή απορροής αποτελεί τη φυσική συνέπεια του υδρογραφήματος απορροής. Γενικά, υπολογισμοί βασισμένοι στο υδρογράφημα της λεκάνης απορροής δίνουν τα πλέον ικανοποιητικά αποτελέσματα. Εντούτοις, πολλά υδραυλικά έργα, σε παγκόσμια κλίμακα, μελετήθηκαν με μεθόδους απευθείας προσδιορισμού της αιχμής απορροής. Αυτές βασίζονται σε μαθηματικά ή μη ομοιώματα διαφόρου βαθμού αξιοπιστίας, χωρίς τη χρήση υδρογραφήματος της περιοχής. Μία από τις μεθόδους που περιγράφεται παρακάτω είναι και η ορθολογική μέθοδος [2].

### 2.3.1 Ορθολογική μέθοδος

Κατά τη μέθοδο αυτή συσχετίζεται η βροχόπτωση με την αιχμή απορροής. Αν και η μέθοδος βασίστηκε σε παραδοχές, που δεν ικανοποιούνται εύκολα κάτω από πραγματικές συνθήκες, εντούτοις, όμως, η απλότητα της την έχει καταστήσει μία από τις πλέον δημοφιλείς μεθόδους. Ιστορικά, πιστεύεται ότι η μέθοδος πρωτοεμφανίστηκε από τον Kuichling, το 1889, κατά τον προσδιορισμό της αιχμής απορροής του δικτύου όμβριων υδάτων του Ρότζεστερ, της Νέας Υόρκης των ΗΠΑ. Κατ' άλλους, οι αρχές της μεθόδου τέθηκαν από τον Mulvaney, στα 1851. Ο Donnan (David και Sorensen) αναφέρει ότι η μέθοδος αναπτύχθηκε από τον Ramser, το 1927, για την εκτίμηση της απορροής νερού βροχής σε αγροτικές περιοχές [2].

Η μαθηματική σχέση που εκφράζει την ορθολογική μέθοδο είναι:

$$Q_m = \alpha\, C\, i\, F \qquad (2.1)$$

Όπου: $Q_m$ = η παροχή αιχμής (μέγιστη πλημμυρική παροχή),

$C$ = ο αδιάστατος συντελεστής απορροής, εξαρτώμενος από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και της ατμοσφαιρικής

κατακρήμνισης,

i = h/t = η ένταση της βροχόπτωσης,

h, t = το ύψος και η διάρκεια της βροχόπτωσης, αντίστοιχα,

F = το εμβαδόν της λεκάνης απορροής (οριζόντια προβολή) και

a = συντελεστής μετατροπής μονάδων, με τιμές:

α = 1 ,008 για i = σε in/hr, F σε acre και Q σε cfs ($ft^3$/sec)

α = 0,276 για i = σε in/hr, F σε $Km^2$ και Q σε $m^3$/sec

Κατά την εφαρμογή της ορθολογικής μεθόδου, για δεδομένη ένταση βροχής, η μέγιστη απορροή παρατηρείται, θεωρούμενης σταθερής της έντασης της βροχής σε όλη τη λεκάνη απορροής, όταν η διάρκεια της γίνει ίση προς τον χρόνο συγκέντρωσης. Σαν χρόνος συγκέντρωσης ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται για τη ροή του νερού από το πλέον απομακρυσμένο (σε χρόνο ροής) σημείο της λεκάνης απορροής μέχρι το σημείο μελέτης.

Για φυσικές λεκάνες μεγάλων διαστάσεων και πολύπλοκης μορφής, η απορροή από το πλέον απομακρυσμένο σημείο μπορεί να φθάσει πολύ αργά και να μη συμβάλλει στην αιχμή της απορροής.

Γενικά, η ένταση της βροχόπτωσης θεωρείται ομοιόμορφη σε όλη τη λεκάνη απορροής και για χρονική διάρκεια ίση ή μεγαλύτερη του χρόνου συγκέντρωσης. Ο συντελεστής απορροής *C* ορίζεται συνήθως με τη σχέση:

C = Αιχμή απορροής δεδομένης συχνότητας / Μέση ένταση βροχόπτωσης της ίδιας συχνότητας (2.2)

Ειδικότερα, η τιμή του εξαρτάται από το ρυθμό διήθησης του νερού στο έδαφος, τη φυτοκάλυψη της λεκάνης, την αποθηκευτική ικανότητα του υδατορεύματος και της περιοχής, τις συνθήκες που επικρατούσαν στη λεκάνη πριν την ατμοσφαιρική κατακρήμνιση καθώς και την ένταση της κατακρήμνισης. Είναι φανερή η δυσκολία να συμπεριληφθούν όλοι αυτοί οι παράγοντες σε μία παράμετρο. Οι πίνακες της

βιβλιογραφίας δίνουν συνήθως τιμές του C συναρτήσει μερικών από τους προηγούμενους παράγοντες.

Πίνακας 2.1 : Τιμές του C [ με C = 1-( C1'+ C2'+ C3' )] (Ελληνικός κανονισμός).

| **Χαρακτηριστικά λεκάνης** | **C** |
|---|---|
| 1. Τοπογραφικές συνθήκες | Τιμές του $C_1$' |
| Επίπεδα εδάφη μέσων κλίσεων 0.015% - 0.05% | 0.30 |
| Κλιτύες μέσων κλίσεων 0.25% - 0.35% | 0.20 |
| Λοφώδη εδάφη μέσων κλίσεων 2.5%-3.5% | 0.10 |
| 2. Φύση εδάφους | Τιμές του $C_2$' |
| Αδιαπέρατοι άργιλοι | 0.10 |
| Μέσες συνθήκες αργίλων και πηλών | 0.20 |
| Αμμοπηλοί | 0.40 |
| 3. Φυτική κάλυψη | Τιμές του $C_3$' |
| Καλλιεργήσιμο έδαφος | 0.10 |
| Δενδροκάλυψη | 0.20 |

Ο Τριανταφυλλίδης (1970) χωρίζει την περιοχή εκτός των Αθηνών σε τρεις κατηγορίες (ορεινή, λοφώδη και πεδινή και δίνει τους αντίστοιχους συντελεστές απορροής C (πίνακας 2.2).

Πίνακας 2.2 : Τιμές του C για λεκάνες εκτός Αθηνών.

| **Κατηγορία λεκάνης** | **C** |
|---|---|
| Ορεινή | 0.60 |
| Λοφώδης | 0.50 |
| Πεδινή | 0.30 |

Οι Ven Te Chow (1964) (πίνακες 2.3, 2.4) και Donnan (εκδ. David και Sorensen 1969) (πίνακας 2.3) εκφράζουν τον συντελεστή απορροής συναρτήσει διαφόρων παραμέτρων όπως το είδος του εδάφους, η τοπογραφία του και τη φυτοκάλυψη.

Πίνακας 2.3 : Τιμές του C για λιβάδια.

| **Έδαφος** | **C** |
|---|---|
| 1.Αμμώδες | |
| Ήπιας κλίσης 2% | 0.05-0.10 |
| Μέσης κλίσης 2% - 7% | 0.10-0.15 |
| Μεγάλης κλίσης 7% | 0.15-0.20 |
| 2.Βαρύ | |
| Ήπιας κλίσης 2% | 0.13-0.17 |
| Μέσης κλίσης 2% -7% | 0.18-0.22 |
| Μεγάλης κλίσης 7% | 0.25-0.35 |

Πίνακας 2.4 : Τιμές του *C* ανάλογα με το έδαφος και τη φυτοκάλυψή του.

| **Τύπος εδάφους** | **Καλλιέργεια** | **Λιβάδι** | **Δένδρα** |
|---|---|---|---|
| 1. Ρυθμός διήθησης άνω του μέσου όρου. Έδαφος αμμώδες ή χαλικώδες | 0.20 | 0.15 | 0.10 |
| 2.Μέσος ρυθμός διήθησης. Έδαφος χωρίς περιοχές με άργιλο, πηλό ή όμοιο υλικό | 0.40 | 0.35 | 0.30 |
| 3.Ρυθμος διήθησης κάτω του μέσου όρου. Έδαφος αργιλώδες βαρύ ή περιοχές με άργιλο κοντά στην επιφάνεια ή αβαθή εδάφη πάνω από αδιαπέρατο βράχο. | 0.50 | 0.45 | 0.40 |

Πίνακας 2.5 : Τιμές του C για αγροτικές περιοχές.

| **Λεκάνη απορροής** | **κλίση %** | ***C*** |
|---|---|---|
| Καλλιεργημένη σε περιοχή με ήπιες κλίσεις | 0-5 | 0.40 |
| Καλλιεργημένη σε λοφώδη περιοχή (μικρές κλίσεις) | 5-10 | 0.60 |
| Καλλιεργημένη σε λοφώδη περιοχή | 10-30 | 0.72 |
| Βοσκότοπος σε περιοχή με ήπιες κλίσεις | 0-5 | 0.25 |
| Βοσκότοπος σε λοφώδη περιοχή (με μικρές κλίσεις) | 5-10 | 0.36 |
| Βοσκότοπος σε λοφώδη περιοχή ^ | 10-30 | 0.42 |
| Δενδροφυτευμένη σε περιοχή με ήπιες κλίσεις | 0-5 | 0.15 |
| Δενδροφυτευμένη σε λοφώδη περιοχή (μικρές κλίσεις) | 5-10 | 0.18 |

Η καμπύλη έντασης- διάρκειας βροχής (για δεδομένη περίοδο επαναφοράς $T_r$) εκφράζεται συνήθως με τη σχέση [ 2]:

$$i = \frac{ATr^{a}}{t^{b} + d} = \frac{C}{t^{b} + d} \tag{2.3}$$

από την οποία για d = 0 προκύπτει η εκθετική σχέση:

$$i = \frac{ATr^{a}}{t^{b}} = \frac{C}{t^{b}} = Ct^{-b} \tag{2.4}$$

| | | |
|---|---|---|
| όπου: | Tr | = η περίοδος επαναφοράς (έτη), |
| | t | = η διάρκεια της βροχόπτωσης (σε ώρες) και |
| | A, C, α, b, d | = σταθερές που προσδιορίζονται από την επεξεργασία των υδρολογικών στοιχείων |

Σαν παράδειγμα αναφέρεται η καμπύλη έντασης-διάρκειας βροχής της περιοχής Αχαΐας (Τριανταφυλλίδης 1970).

$$i = \frac{17.T_r^{0.22}}{t^{0.25}} \tag{2.5}$$

όπου η ένταση ί εκφράζεται σε mm/hr, η περίοδος επαναφοράς T σε έτη και η διάρκεια της βροχής σε ώρες. Όπως αναφέρθηκε, μέγιστη απορροή παρατηρείται όταν η διάρκεια της βροχής γίνει ίση προς τον χρόνο συγκέντρωσης.

Ο χρόνος συγκέντρωσης μπορεί να υπολογιστεί από εμπειρικές σχέσεις. Στον Ελληνικό κανονισμό καθώς και στη διεθνή βιβλιογραφία περιέχονται: α) ο τύπος του Giantotti και β) ο τύπος του Kirpich. Ο τύπος του Giantotti είναι [2]:

$$T = \frac{4\sqrt{F} + 1.5L}{0.8\sqrt{H - h}} \tag{2.6}$$

όπου: T = ο χρόνος συγκέντρωσης (σε ώρες),

F = η επιφάνεια (οριζόντια προβολή) της λεκάνης απορροής (σε $Km^2$),

L = το μήκος της διαδρομής του νερού στη φυσική κοίτη (σε Km),

H = το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής (σε m) και

h = το υψόμετρο πυθμένα της κοίτης στην εξεταζόμενη διατομή του υδατορεύματος (σε m).

Για την εμπειρική σχέση του Giantotti (Εξ. 2.7), στον Ελληνικό κανονισμό, επισημαίνεται ότι:

α) εκφράζει το συνολικό χρόνο συγκέντρωσης, δηλαδή το άθροισμα του χρόνου ροής στην επιφάνεια των κλητύων και στην κοίτη του υδατορεύματος και

β) πρέπει να εφαρμόζεται σε απλές λεκάνες που εμφανίζουν σαφώς μία και μόνο κύρια μισγάγγεια, χωρίς να αποτελούνται από περισσότερες της μίας σημαντικές υπολεκάνες.

Ο χρόνος συγκέντρωσης του νερού, σε αγροτικές περιοχές έκτασης το πολύ 13 $Km^2$ μέχρι την εξεταζόμενη διατομή του ρεύματος, για απλές λεκάνες και φυσική κοίτη ακανόνιστης διατομής, μπορεί να υπολογιστεί από τον ακόλουθο τύπο του Kirpich [4]:

$$T = 0.02\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.77} \tag{2.7}$$

όπου: T = ο χρόνος συγκέντρωσης (σε min),

L = το μήκος διαδρομής του νερού στη φυσική κοίτη (σε m) και

S = η μέση κατά μήκος κλίση της φυσικής κοίτης.

Ο Ελληνικός κανονισμός για τον τύπο του Kirpich αναφέρει τα ακόλουθα:

1. Ο τύπος εκφράζει το χρόνο από την έναρξη ανύψωσης της στάθμης στην εξεταζόμενη θέση του ρεύματος μέχρις ότου η στάθμη στη θέση αυτή πάρει τη μέγιστη τιμή. Κατά την εφαρμογή της ορθολογικής μεθόδου, ο χρόνος βροχόπτωσης μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο του Giantotti χωρίς να προσαυξηθεί με τον χρόνο ροής του νερού στην επιφάνεια των κλιτύων.
2. Η εφαρμογή του πρέπει να περιορίζεται μόνο στον υπολογισμό του χρόνου ροής κατά μήκος μιας μισγάγγειας.
3. Μπορεί επιπλέον να εφαρμοστεί και σε λεκάνες απορροής με αύξουσα (και όχι σταθερή) κλίση της φυσικής κοίτης προς τα ανάντη. Στην περίπτωση αυτή, σε πρώτη προσέγγιση, το 70% του μήκους του υδατορεύματος θεωρείται σαν χαμηλή κοίτη και το υπόλοιπο σαν υψηλή κοίτη. Παράλληλα υπολογίζονται οι αντίστοιχες κλίσεις της κοίτης και τελικά ο λόγος $L/\sqrt{S}$ της λεκάνης απορροής που ισούται προς το άθροισμα τον αντίστοιχων λόγων της υψηλής και χαμηλής κοίτης.

Στην περίπτωση τεχνητής κοίτης ή φυσικής κοίτης, με σαφή και γνωστή διατομή, ο χρόνος διαδρομής του νερού στο υδατόρευμα υπολογίζεται ή τουλάχιστον ελέγχεται με βάση το γεωμετρικά και φυσικά στοιχεία της διατομής της κοίτης. Για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης, σε δεδομένη διατομή του υδατορεύματος, στο χρόνο που προηγούμενα αναφέρθηκε, προστίθεται και ο χρόνος ροής στην επιφάνεια των κλιτύων.

Όταν η λεκάνη απορροής αναλύεται σε σημαντικές από απόψεως μεγέθους ή μορφολογίας υπολεκάνες, ο χρόνος συγκέντρωσης υπολογίζεται για κάθε υπολεκάνη. Τελικά, σαν χρόνος βροχόπτωσης της συνολικής λεκάνης ορίζεται ο μεγαλύτερος από τους χρόνους συγκέντρωσης που υπολογίστηκαν.

Η ορθολογική μέθοδος ισχύει με τις ακόλουθες παραδοχές [2]:

1. Για βροχόπτωση ορισμένης έντασης και διάρκειας ίσης ή μεγαλύτερης του χρόνου συγκέντρωσης, ο ρυθμός απορροής γίνεται μέγιστος. Ο μέγιστος αυτός ρυθμός απορροής προκύπτει από τη γραμμική εξίσωση μεταξύ έντασης βροχόπτωσης I και απορροής Q (με Q = 0, όταν i = 0)

2. Η συχνότητα της παροχής αιχμής είναι ίδια με την αντίστοιχη της βροχόπτωσης για τον δοθέντα χρόνο συγκέντρωσης
3. Η σχέση μεταξύ αιχμής απορροής και εμβαδού λεκάνης απορροής είναι ίδια με τη σχέση διάρκειας και έντασης βροχόπτωσης
4. Ο συντελεστής απορροής δε μεταβάλλεται με τη συχνότητα των καταιγίδων
5. Ο συντελεστής απορροής παραμένει αμετάβλητος για όλες τις καταιγίδες μιας λεκάνης απορροής.

Ο ελληνικός κανονισμός αναφέρει ότι ο μόνος περιορισμός εφαρμογής της ορθολογικής μεθόδου είναι η έκταση λεκάνης απορροής. Για εκτάσεις μικρότερες των 130 $Km^2$ h η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί, ενώ για εκτάσεις μεγαλύτερες μπορεί να εφαρμόζεται όταν πρόκειται για λεκάνες που έχουν υδρολογική ενότητα. Υδρολογική ενότητα προσδιορίζεται από στοιχεία βροχής, συντελεστές απορροής κ.τ.λ.

## 2.4 Όμβριες καμπύλες

Από την πιθανοκρατική ανάλυση των σημειακών βροχοπτώσεων διαφόρων διαρκειών, προκύπτουν οι γραφικές ή αναλυτικές σχέσεις μεταξύ του ύψους βροχής h (ή της μέσης εντάσεως $i_m = \frac{h_{ολ}}{t}$) και της διάρκειας βροχής t, για διάφορες περιόδους επαναφοράς του μέγιστου αυτού γεγονότος βροχής. Οι συναρτήσεις (h, t, T) ή (i, t, T) και οι αντίστοιχες καμπύλες h(t) ή $i_m(t)$ που προκύπτουν, είναι παραμετρικές ως προς την περίοδο επαναφοράς (T) και καλούνται όμβριες καμπύλες.

Ως περίοδος επαναφοράς δοθέντος ετήσιου μεγέθους ενός φαινόμενου, ορίζεται το μέσο χρονικό διάστημα T (έτη), μέσα στο οποίο, το θεωρούμενο υδρολογικό φαινόμενο θα εμφανιστεί μία φορά μόνο, με τιμή ίση ή μεγαλύτερη της δοθείσας.

Με σκοπό τον υπολογισμό της όμβριας καμπύλης στην περιοχή μελέτης, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μέγιστες (ακραίες) τιμές της μεταβλητής "ύψος βροχής". Για το λόγο αυτό, στη μελέτη «Διαχείριση Υδατικών Πόρων της μείζονος

υδρολογικής λεκάνης Βόλου» που παραχωρήθηκε από τη Δημόσια Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Μείζονος Περιοχής Βόλου, πραγματοποιήθηκε ανάλυση των μέγιστων ετήσιων τιμών του ύψους βροχής, βάσει της κατανομής ακραίων τιμών Τύπου I (Gumbel)[7].

Η συνάρτηση της κατανομής Gumbel δίνεται από την ακόλουθη συνάρτηση αθροιστικής πιθανότητας:

$$P(h) = \exp(-\exp(-a(h-h_o))) \tag{2.8}$$

Όπου: h = η μεταβλητή "μέγιστο ετήσιο ύψος βροχής"

*P(h)* = η συνάρτηση κατανομής

α = παράμετρος κλίμακας της κατανομής

$h_0$ = παράμετρος θέσεως (αρχής) της κατανομής Gumbel

Όπως είναι γνωστό, η αθροιστική πιθανότητα P(h) συνδέεται με την περίοδο επαναφοράς (T) με την ακόλουθη εξίσωση:

$$P(h) = 1 - \frac{1}{T} \tag{2.9}$$

Οι παράμετροι α και $h_0$ εκτιμώνται από τα εμπειρικά χαρακτηριστικά του δείγματος, τη μέση τιμή $h_m$ και την τυπική απόκλιση $S_h$. Η μέθοδος των ροπών δίνει τις εκτιμήσεις:

$$h_0 = h_m - \frac{0.5772}{a} \tag{2.10.1}$$

και

$$\alpha = \frac{1}{0.7797 S_h} \qquad (2.10.2)$$

Τα ύψη βροχής $h_T$ που προκύπτουν τελικά από τη συνάρτηση κατανομής Gumbel, δίνονται από τη σχέση :

$$h_T = \frac{1}{a} \{ -\ln [ -\ln (1 - \frac{1}{T}) ] \} + h_0 \qquad (2.11)$$

Η μορφή των όμβριων καμπύλων είναι εκείνη του Montana, δηλαδή:

$$i = \alpha\, t^n \qquad (2.12.1)$$

ή

$$h = \alpha\, t^{(n+1)} \qquad (2.12.2)$$

οπού: i = η ένταση της βροχής (mm/h)

h = το ύψος βροχής (mm )

t = ο χρόνος βροχής (hr)

α, n = σταθερές για την περιοχή μελέτης

Λογαριθμίζοντας τη σχέση του Montana, προκύπτει ότι οι παράμετροι α, n μπορούν να υπολογιστούν με γραμμική συσχέτιση μεταξύ των λογαρίθμων των i και t, για ορισμένη τιμή της περιόδου επαναφοράς Τ. Η αξιοπιστία της γραμμικής συσχέτισης εκτιμάται με το συντελεστή γραμμικής συσχέτισης r.

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης [Διαχείριση Υδατικών Πόρων της μείζονος υδρολογικής λεκάνης Βόλου] εξετάστηκαν τα διαθέσιμα μέγιστα ετήσια ύψη βροχής για διάφορες διάρκειες (5', 10', 15', 30', 1ω, 2ω, 6ω, 12ω και 24ω) από το βροχογράφο που λειτουργεί στο σταθμό της Ν. Αγχιάλου (Αεροδρόμιο, Ε.Μ.Υ., υψόμετρο +15 m).

Επίσης, ελήφθησαν υπόψη οι όμβριες καμπύλες που έχουν εξαχθεί για το σταθμό του Σωτήριου Λάρισας (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., φ=39° 30', λ=22° 43', υψόμετρο +54 m), στα πλαίσια της μελέτης "Προμελέτη Ταμιευτήρα Κάρλας και Συναφών Έργων" (Ανάδοχος: Γραφείο Μελετών «ΑΛΦΑ-ΩΜΕΓΑ» Μ. ΕΞΑΡΧΟΥ, Α. ΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΣ. Α. ΜΠΕΝΣΑΣΣΩΝ - Γραφείο Μελετών «Ν. ΝΙΚΟΛΑΪΔΗ», Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε, Απρίλιος 1982).

Αφού υπολογίστηκαν οι όμβριες καμπύλες για το σταθμό της Ν. Αγχιάλου, στη συνέχεια συνδυάστηκαν με τις γνωστές του σταθμού Σωτηρίου και προέκυψαν οι τελικές όμβριες καμπύλες για διάφορες περιόδους επαναφοράς στην περιοχή μελέτης.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα τελικά αποτελέσματα σχετικά με τις όμβριες καμπύλες που τελικά υιοθετήθηκαν στην περιοχή μελέτης.

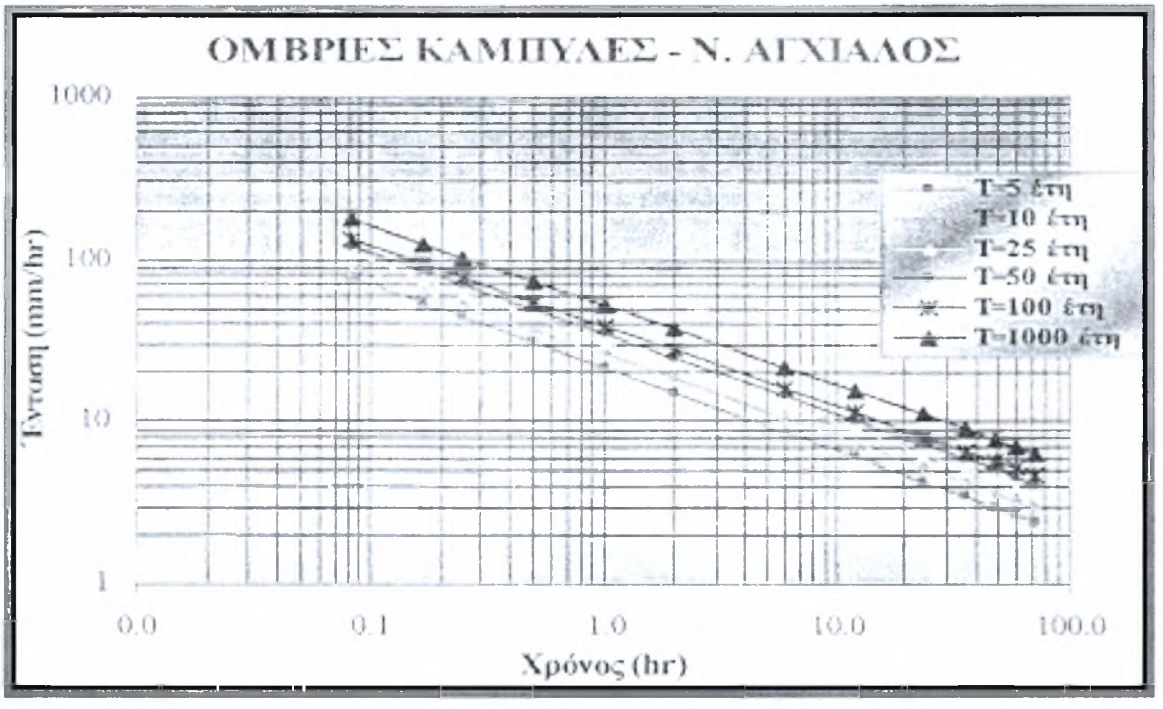
### 2.4.1 Όμβρια Καμπύλη Ν. Αγχιάλου

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι παράμετροι (α, η) των όμβριων καμπύλων του σταθμού Ν. Αγχιάλου που υπολογίστηκαν τελικά για διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς (με δεδομένο ότι η γενικευμένη εξίσωση της όμβριας καμπύλης είναι: $i = \alpha * t^{n}$).

Πίνακας 2.6 : Παράμετροι (α, η) των όμβριων καμπύλων του σταθμού Ν. Αγχιάλου

| **Περίοδος** | **α** | **n** |
|---|---|---|
| **2** | 15.25 | -0.528 |
| **5** | 21.71 | -0.512 |
| **10** | 25.97 | -0.506 |
| **25** | 31.36 | -0.501 |
| **50** | 35.35 | -0.498 |
| **100** | 39.32 | -0.495 |
| **1000** | 52,42 | -0.49 |

Η εξίσωση της όμβριας καμπύλης παρουσιάζεται γραφικά, για επιλεγμένες τιμές της περιόδου επαναφοράς, στο σχήμα που ακολουθεί.




**Σχήμα 2.1 :** Όμβριες καμπύλες για επιλεγμένες περιόδους επαναφοράς (σταθμός Ν. Αγχιάλου).

### 2.4.2 Όμβρια Καμπύλη Σωτήριου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, εκτός από τον υπολογισμό των ομβρίων καμπυλών της Ν. Αγχιάλου, ελήφθησαν υπόψη οι όμβριες καμπύλες που έχουν εξαχθεί για το σταθμό του Σωτήριου Λάρισας (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., φ=39° 30', λ=22° 43', υψόμετρο +54 m), στα πλαίσια της μελέτης "Προμελέτη Ταμιευτήρα Κάρλας και Συναφών Έργων" (Ανάδοχος: Γραφείο Μελετών «ΑΛΦΑ-ΩΜΕΓΑ» Μ. ΕΞΑΡΧΟΥ, Α. ΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΣ, Α. ΜΠΕΝΣΑΣΣΩΝ - Γραφείο Μελετών «Ν. ΝΙΚΟΛΑΪΔΗ», Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., Απρίλιος 1982).

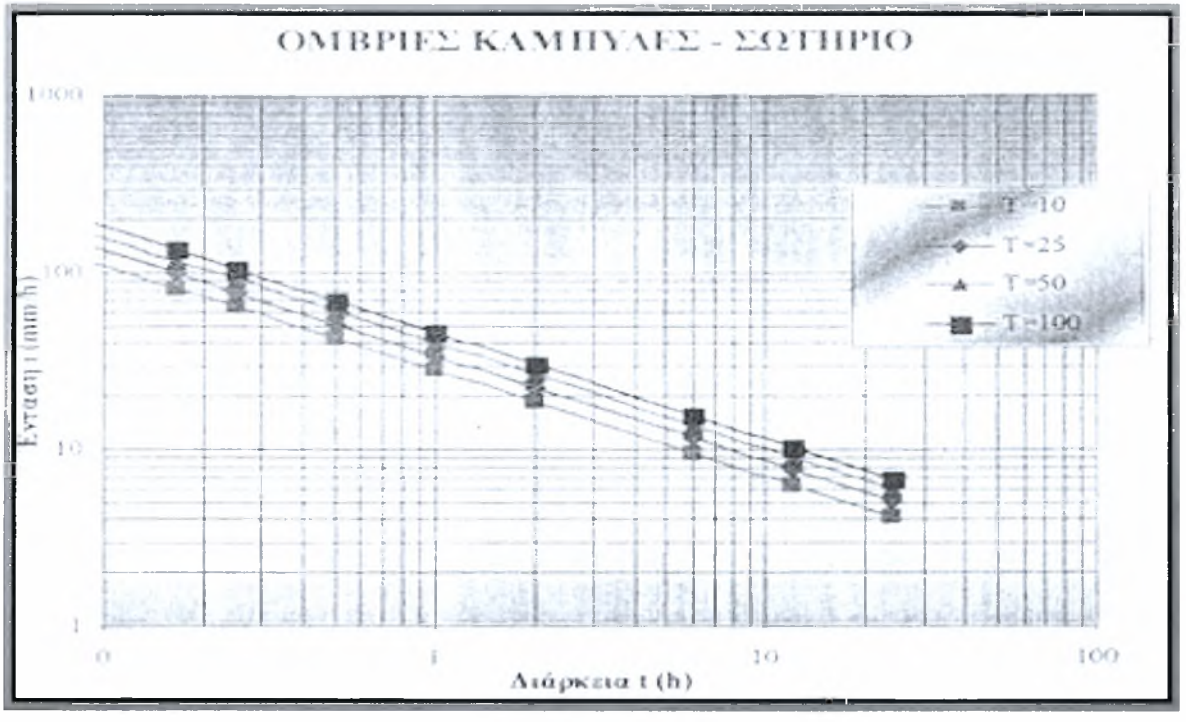
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι παράμετροι (α, η) των όμβριων καμπύλων του σταθμού Σωτήριου με δεδομένο ότι η γενικευμένη εξίσωση της όμβριας καμπύλης είναι: $i = \alpha * t^{n}$. Σημειώνεται ότι αυτές οι όμβριες καμπύλες έχουν προκύψει από

την επεξεργασία των απαιτούμενων στοιχείων που ελήφθησαν από χρονοσειρά παρατηρήσεων 21 ετών (1961-1981).

Πίνακας 2.7 : Παράμετροι (α, η) των όμβριων καμπύλων του σταθμού Σωτήριου

| **Περίοδος επαναφοράς, Τ** | **α** | **n** |
|---|---|---|
| **10** | 28 | -0.6 |
| **25** | 34 | -0.6 |
| **50** | 40 | -0.6 |
| **100** | 46 | -0.6 |

Η εξίσωση της όμβριας καμπύλης παρουσιάζεται γραφικά, για επιλεγμένες τιμές της περιόδου επαναφοράς, στο σχήμα που ακολουθεί.




**Σχήμα 2.2:** Όμβριες καμπύλες για επιλεγμένες περιόδους επαναφοράς (σταθμός Σωτήριου).

### 2.4.3 Όμβρια Καμπύλη Περιοχής Μελέτης

Με βάση τη θέση των σταθμών, φαίνεται ότι οι υδρολογικές λεκάνες της περιοχής μελέτης βρίσκονται μεταξύ των σταθμών αυτών κατά την έννοια του γεωγραφικού πλάτους, κι επομένως εύλογα μπορεί να θεωρηθεί ότι η όμβρια καμπύλη της περιοχής μελέτης θα πρέπει να υπολογιστεί από τη σύνθεση των όμβριων καμπύλων των επιμέρους σταθμών (Ν. Αγχιάλου και Σωτήριου) για διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς.

Η σύνθεση των όμβριων καμπύλων των σταθμών για μία δεδομένη τιμή της περιόδου επαναφοράς (Τ) γίνεται γραφικά, κατά τον ακόλουθο τρόπο:

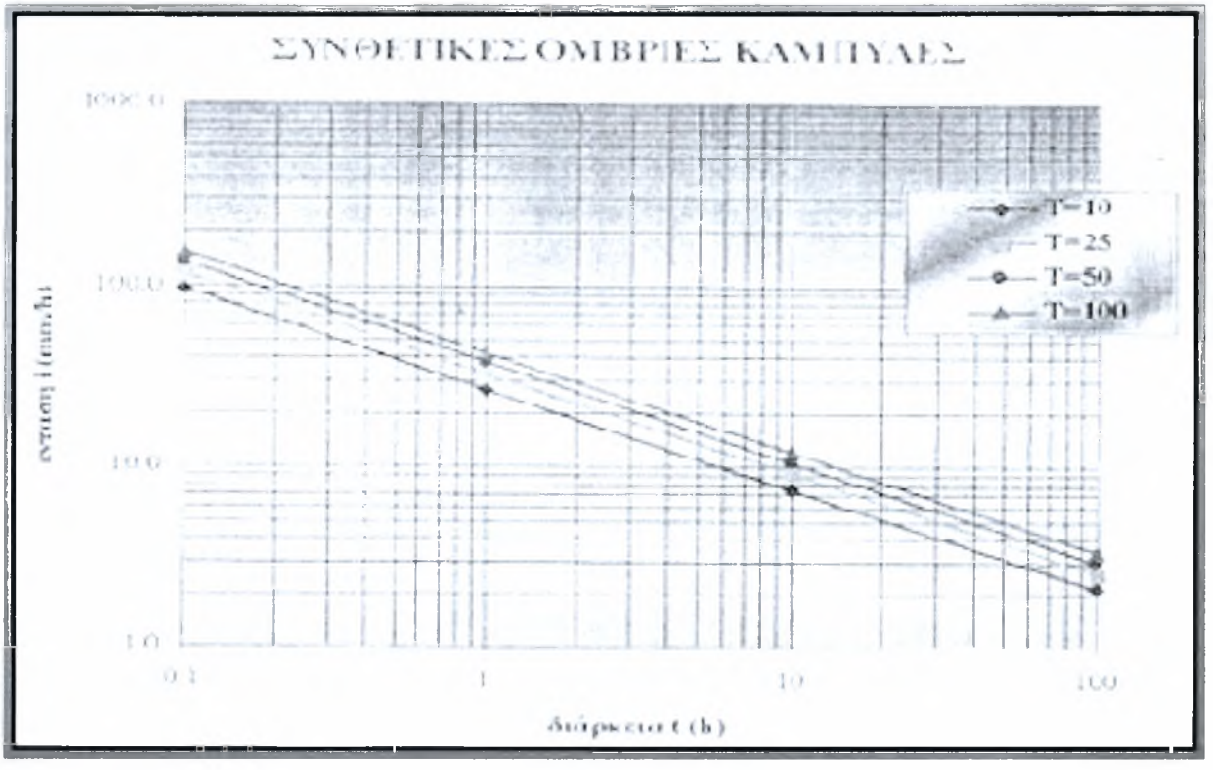
- Για τη συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς υπολογίζονται με βάση την όμβρια καμπύλη του κάθε σταθμού οι εντάσεις βροχής για διάφορες διάρκειες.

- Στη συνέχεια υπολογίζεται για κάθε διάρκεια ο μέσος όρος των εντάσεων βροχής (μέση ένταση βροχής).
- Η εξίσωση εκθετικής μορφής (όμοιας με τη γενικευμένη εξίσωση της όμβριας καμπύλης $i = \alpha * t^{n}$) καμπύλης που προκύπτει από τα ζεύγη τιμών μέσης έντασης βροχής - διάρκειας, αποτελεί την εξίσωση της όμβριας καμπύλης για τη συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι παράμετροι (α, η) των "συνθετικών" όμβριων καμπύλων της περιοχής μελέτης, οι οποίες υπολογίζονται για εκείνες τις τιμές της περιόδου επαναφοράς, για τις οποίες υπάρχουν στοιχεία όμβριων καμπύλων και στους δύο σταθμούς, δηλαδή για Τ= 10, 25, 50 και 100 έτη.

Πίνακας 2.8 : Παράμετροι (α, η) των "συνθετικών" όμβριων καμπύλων της περιοχής μελέτης.

| **Περίοδος επαναφοράς, Τ (έτη)** | **α** | **n** |
|---|---|---|
| **10** | 27.087 | -0.554 |
| **25** | 32.817 | -0.551 |
| **50** | 37.84 | -0.551 |
| **100** | 42.857 | -0.55Ï |




**Σχήμα 2.3:** Συνθετικές όμβριες καμπύλες στην περιοχή μελέτης, για επιλεγμένες περιόδους επαναφοράς

### 2.4.4 Εκτίμηση παροχής σχεδιασμού σε χαρακτηριστικές θέσεις

Η παροχή σχεδιασμού σε θέσεις που τροφοδοτούνται από λεκάνες απορροής με μία κύρια μισγάγγεια, ισούται με την πλημμυρική παροχή που υπολογίζεται σύμφωνα με τη μεθοδολογία, των προηγούμενων παραγράφων για την περίοδο επαναφοράς σχεδιασμού του έργου.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι πλημμυρικές αιχμές που υπολογίζονται για διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς T=10, 25, 50, 100 και 1000 έτη στις υδρολογικές λεκάνες Α1, Α2 και Α3. Όσον αφορά στις πλημμυρικές παροχές των 10, 25, 50 και 100 ετών, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από τις συνθετικές όμβριες καμπύλες, ενώ για τα 1000 έτη χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από το σταθμό της Ν.

Αγχιάλου και όχι από τη συνθετικές, λόγω έλλειψης στοιχείων στο σταθμό του Σωτηρίου. Οι λεκάνες αυτές αντιμετωπίζονται χωρίς μεγάλο σφάλμα ενιαία (δηλαδή με μία κύρια μισγάγγεια) και η πλημμυρική αιχμή υπολογίζεται με βάση την ορθολογική μέθοδο όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Πίνακας 2.9: Εκτίμηση της πλημμυρικής παροχής και του όγκου της πλημμύρας στην έξοδο της υδρολογικής λεκάνης Α1 της περιοχής μελέτης

Δεδομένα:

| **Λεκάνη** | **Α1** | | |
|---|---|---|---|
| A= | 5.363 | $Km^2$ | Έκταση λεκάνης απορροής |
| L= | 5.600 | Km | Μήκος μισγάγγειας κύριου ρέματος |
| $H_m$= | 770 | m | Μέσο υψόμετρο λεκάνης απορροής |
| $H_o$= | 160.00 | m | Υψόμετρο εξόδου λεκάνης απορροής |
| C= | 0.50 | | Συντελεστής απορροής |
| tc= | 0.8 | hr | Χρόνος συγκέντρωσης |

| T (έτη) | i (mm/hr) | Q ($m^3/s$) |
|---|---|---|
| 10 | 35,33 | 26.15 |
| 25 | 41.91 | 31.02 |
| 50 | 46.62 | 34.5 |
| 100 | 53.8 | 39.82 |
| 1000 | 58.477 | 43.278 |

| | | |
|---|---|---|
| T= | Περίοδος επαναφοράς | (έτη) |
| i= | Ένταση βροχής | (mm/hr) |
| Q= | Μέγιστη παροχή εισροής | (C*i*A) |

Πίνακας 2.10: Εκτίμηση της πλημμυρικής παροχής και του όγκου της πλημμύρας στην έξοδο της υδρολογικής λεκάνης Α2 της περιοχής μελέτης

Δεδομένα:

| **Λεκάνη** | **Α2** | | |
|---|---|---|---|
| A= | 3.328 | $Km^2$ | Έκταση λεκάνης απορροής |
| L= | 5.750 | Km | Μήκος μισγάγγειας κύριου ρέματος |
| $H_m$= | 444 | m | Μέσο υψόμετρο λεκάνης απορροής |
| $H_o$= | 46.7 | m | Υψόμετρο εξόδου λεκάνης απορροής |
| C= | 0.40 | | Συντελεστής απορροής |
| tc= | 0.95 | hr | Χρόνος συγκέντρωσης |

| T (έτη) | i (mm/hr) | Q ($m^3/s$) |
|---|---|---|
| 10 | 32.1 | 11.79 |
| 25 | 38.16 | 14.02 |
| 50 | 42.5 | 15.61 |
| 100 | 48.95 | 17.98 |
| 1000 | 53.754 | 19.75 |

T= Περίοδος επαναφοράς (έτη)

i= Ένταση βροχής (mm/hr)

Q= Μέγιστη παροχή εισροής (C*i*A)

Πίνακας 2.11: Εκτίμηση της πλημμυρικής παροχής και του όγκου της πλημμύρας στην έξοδο της υδρολογικής λεκάνης Α3 της περιοχής μελέτης.

Δεδομένα:

| **Λεκάνη** | **Α3** | | |
|---|---|---|---|
| A= | 2.043 | $Km^2$ | Έκταση λεκάνης απορροής |
| L= | 3.000 | Km | Μήκος μισγάγγειας κύριου ρέματος |
| $H_m$= | 386 | m | Μέσο υψόμετρο λεκάνης απορροής |
| $H_o$= | 51.4 | m | Υψόμετρο εξόδου λεκάνης απορροής |
| C= | 0.40 | | Συντελεστής απορροής |
| tc= | 0.65 | hr | Χρόνος συγκέντρωσης |

| T (έτη) | i(mm/hr) | Q ($m^3$/s) |
|---|---|---|
| 10 | 39.66 | 8.95 |
| 25 | 46.93 | 10.58 |
| 50 | 52.14 | 11.76 |
| 100 | 60.3 | 13.60 |
| 1000 | 64.74 | 14.6 |

| | | |
|---|---|---|
| T= | Περίοδος επαναφοράς | (έτη) |
| i= | Ένταση βροχής | (mm/hr) |
| Q= | Μέγιστη παροχή εισροής | (C*i*A) |

## 2.5 Υπολογισμός της παροχής των κύριων λεκανών Α4 και Α5.

Στο τμήμα του ποταμού Αναύρου, του οποίου η κοίτη είναι διαμορφωμένη από σκυρόδεμα (από την οδό Αναλύψεως και προς την εκβολή του) τοποθετήθηκαν 98 κυκλικοί αγωγοί ομβρίων διαμέτρου 200 mm, από 49 σε κάθε όχθη του , 3 αγωγοί διαμέτρου 300 mm καθώς και 1 αγωγός διαμέτρου 750 mm.

Λαμβάνοντας τη δυσμενέστερη κατάσταση έχουμε ότι η μέγιστη ταχύτητα με την οποία μεταφέρονται τα όμβρια ύδατα είναι: $u_{max}$ = 3.5 m/sec [12]. Οι αντίστοιχες παροχές ομβρίων από τους κυκλικούς αγωγούς που εισέρχονται στο υδατόρρευμα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2.12: Υπολογισμός παροχής ομβρίων

| **D (mm)** | **200** | **300** | **750** |
|---|---|---|---|
| **A ($m^{2)}$** | 0.0314 | 0.07065 | 0.442 |
| **V(m/sec)** | 3.5 | 3.5 | 3.5 |
| **Q($m^3$/sec)** | 0.1099 | 0.247 | 1.545 |

Τελικά, η συνολική παροχή για όλους τους οχετούς (με πλήρωση των όμβριων αγωγών 80%, καθώς μελετάμε υφιστάμενο δίκτυο ομβρίων) θα είναι:

**Q** = ( 49*0.1099+3*0.07065+1.545 ) * 80% = 13.055 * 80% = 10.444 $m^3$ /sec.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3$^{O}$

# ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

## 3.1 Γενικά

Η μελέτη της αντιπλημμυρικής προστασίας του ποταμού Αναύρου γίνεται με τη βοήθεια του προσδιορισμού της ελεύθερης επιφάνειας της ροής με τη βοήθεια του υδραυλικού προγράμματος ανοικτών αγωγών HEC-RAS, το οποίο έχει συνταχθεί από το U.S. Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. Η έκδοση που χρησιμοποιείται είναι η 3.1.1 (Μάιος 2003). Το πρόγραμμα HEC-RAS παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού της ελεύθερης επιφάνειας υπό συνθήκες μονοδιάστατης, μόνιμης ή μη μόνιμης και ανομοιόμορφης ροής σε φυσικά ή τεχνητά υδατορεύματα σταθερής κοίτης.

Ο προσδιορισμός της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας μπορεί να γίνει για υποκρίσιμη, υπερκρίσιμη ή μικτή ροή. Η ανάλυση γίνεται από κατάντη προς ανάντη για υποκρίσιμη ροή και από ανάντη προς κατάντη για υπερκρίσιμη ροή. Το υπόψη υδραυλικό πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα ελέγχου της κατάστασης της ροής με βάση τον αριθμό Froude και μπορεί να προσομοιώνει περιπτώσεις όπου εμφανίζονται εναλλαγές των καταστάσεων ροής. Κατά την αριθμητική προσομοίωση υπάρχει η δυνατότητα να προσομοιάζονται διάφορες κατασκευές και εμπόδια κατά μήκος της ροής, όπως γέφυρες, οχετοί, αναβαθμοί κ.α. Επίσης, μπορούν να θεωρηθούν διαφορετικοί συντελεστές τραχύτητας στην κεντρική κοίτη και στις πλημμυρικές κοίτες, υπολογίζοντας την παροχή χωριστά σε κάθε τμήμα της διατομής και δίνοντας τελικά τη συνολική παροχή ως άθροισμα των επιμέρους παροχών.

Προκειμένου να επιτευχθεί μια πλήρης εποπτεία της διαδικασίας υπολογισμού της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας και της σωστής αξιολόγησης των αποτελεσμάτων,

γίνεται στη συνέχεια μια εκτεταμένη παρουσίαση του θεωρητικού υπόβαθρου του υδραυλικού προγράμματος με ιδιαίτερη έμφαση στις βασικές υδραυλικές εξισώσεις που αυτό επιλύει και στις παραδοχές, στις οποίες βασίζεται η επίλυσή του υπό συθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής.

## 3.2 Μόνιμη ροή

### 3.2.1 Εξισώσεις υπολογισμού της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας

Το προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας, από τη μια διατομή στην άλλη, υπολογίζεται με την επίλυση της εξίσωσης ενέργειας, κάνοντας χρήση μιας επαναληπτικής διαδικασίας που ονομάζεται μέθοδος ολοκληρώσεως σταθερού βήματος (standard step method). Η εξίσωση της ενέργειας που χρησιμοποιείται γράφεται ως εξής:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e \qquad (3.1)$$

όπου: $Y_1, Y_2$ = τα βάθη ροής στις διατομές 1 και 2, αντίστοιχα

$Z_1, Z_2$ = τα αντίστοιχα υψόμετρα πυθμένα

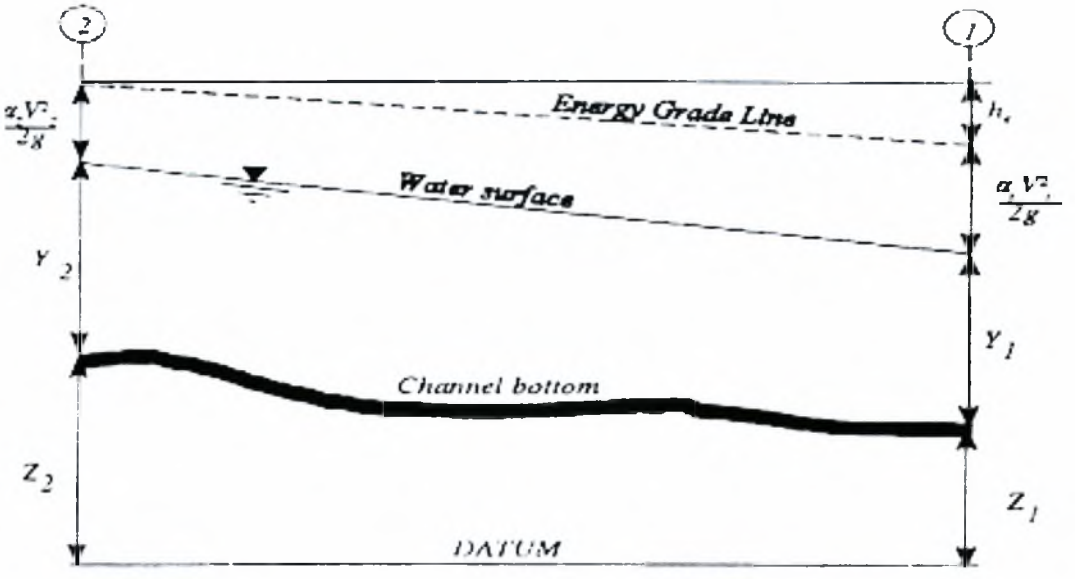
$V_1, V_2$ = οι αντίστοιχες μέσες ταχύτητες ροής

$\alpha_1, \alpha_2$ = σταθμικοί συντελεστές της ταχύτητας

$g$ = η επιτάχυνση της βαρύτητας

$h_e$ = η απώλεια του υδραυλικού φορτίου

Οι παραπάνω συμβολισμοί φαίνονται στο σχήμα 3.1.




**Σχήμα 3.1:** Συμβολισμοί για την παράσταση της ροής με ελεύθερη επιφάνεια

Οι απώλειες φορτίου μεταξύ δύο διατομών οφείλονται σε τριβές και σε απώλειες λόγω στενώσεων και διευρύνσεων. Η εξίσωση από την οποία δίνονται είναι:

$$h_e = L\overline{S_f} + c\left|\frac{a_2V_2^2}{2g} - \frac{a_2V_1^2}{2g}\right| \tag{3.2}$$

όπου: L = το ανοιγμένο μήκος μεταξύ των διατομών 1 και 2

$S_f$ = η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής μεταξύ των δύο διατομών που υπολογίζεται με βάση την εξίσωση του Manning

C = ο συντελεστής στενώσεως ή διευρύνσεως

Το ανοιγμένο μήκος L υπολογίζεται από τη σχέση:

$$L = \frac{L_{lob}\overline{Q_{lob}} + L_{ch}\overline{Q_{ch}} + L_{rob}\overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{rob}} + \overline{Q_{ch}}} \tag{3.3}$$

όπου: $L_{lob}$, $L_{rob}$, $L_c$ τα μήκη της αριστερής, της δεξιάς και της κεντρικής κοίτης αντίστοιχα

$\overline{Q_{lob}}$ , $\overline{Q_{ch}}$ , $\overline{Q_{rob}}$ οι μέσες παροχές των ανωτέρω αντιστοίχων τμημάτων της διατομής.

### 3.2.2 Υπολογισμός της παροχετευτικότητας

Ο υπολογισμός της παροχετευτικότητας και των υδραυλικών στοιχείων της διατομής στηρίζεται στην υποδιαίρεση της σε μονάδες τέτοιες, στις οποίες η ταχύτητα θεωρείται ομοιόμορφα κατανεμημένη. Η τεχνική που χρησιμοποιείται από το HEC-RAS είναι η υποδιαίρεση της διατομής στην κεντρική κοίτη και στις πλημμυρικές κοίτες, μέσω της αλλαγής του συντελεστή τραχύτητας του Manning (σχήμα 3.2). Η συνολική παροχετευτικότητα είναι το άθροισμα των επιμέρους παροχετευτικοτήτων των επιμέρους διατομών. Σύμφωνα με την εξίσωση του Manning έχουμε:

$$Q = K\, S_f^{\frac{1}{2}} \tag{3.4}$$

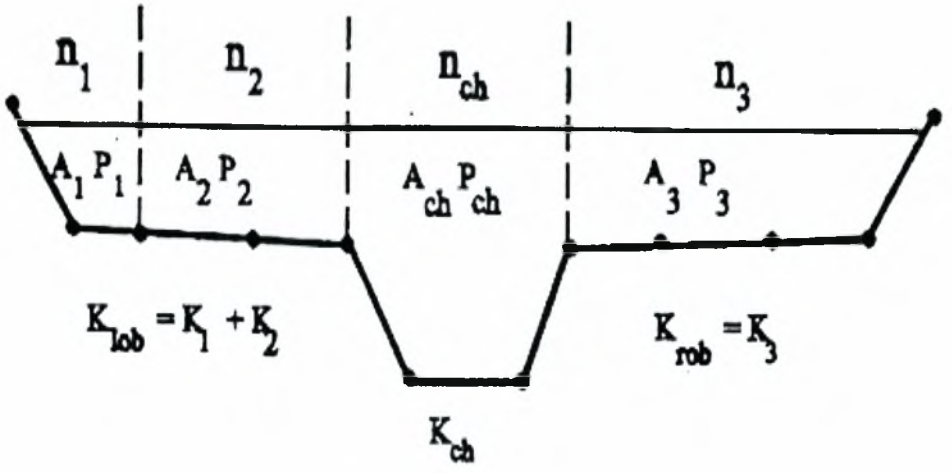
$$K = \frac{1.486}{n}\, A\, R^{\frac{2}{3}} \tag{3.5}$$

όπου: K = η παροχετευτικότητα

n = ο συντελεστής τραχύτητας του Manning

A = η συνολική επιφάνεια

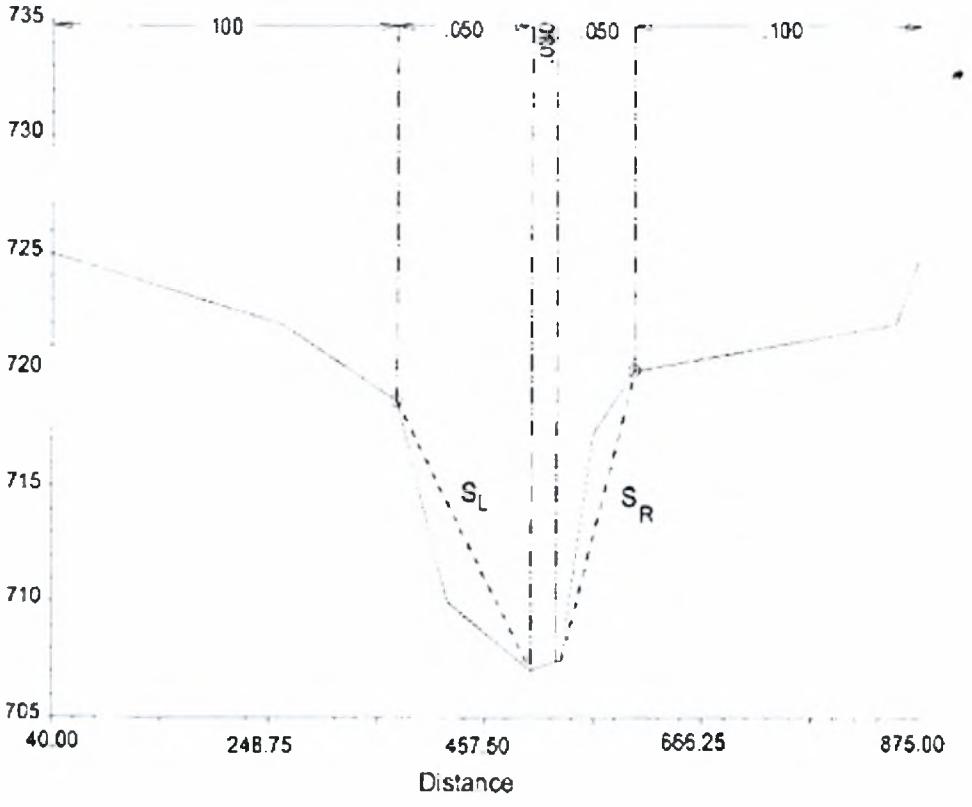
R = η υδραυλική ακτίνα




**Σχήμα 3.2:** Σχηματική παράσταση της υποδιαίρεσης της διατομής με το συντελεστή τραχύτητας του Manning

### 3.2.2.1 Συντελεστές Manning για την κεντρική κοίτη

Η ροή στην κεντρική κοίτη είναι ενιαία, εκτός από τα σημεία που ο συντελεστής τραχύτητας αλλάζει. Το πρόγραμμα HEC-RAS δοκιμάζει την εφαρμοσιμότητα της υποδιαίρεσης της διατομής στην κεντρική κοίτη, μέσω της αλλαγής του συντελεστή τραχύτητας του Manning και αν αυτό δεν είναι εφικτό, το πρόγραμμα υπολογίζει έναν μόνο συντελεστή Manning για ολόκληρη την κεντρική κοίτη. Το πρόγραμμα βασίζεται στο ακόλουθο κριτήριο: αν η κλίση της κεντρικής κοίτης είναι μεγαλύτερη από 5:1 και η κεντρική κοίτη έχει περισσότερους από έναν συντελεστές Manning τότε υπολογίζεται ένας ισοδύναμος συντελεστής τραχύτητας $n_c$. Η κλίση που υπολογίζεται από το πρόγραμμα HEC-RAS ορίζεται ως η οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο σημείων της υποδιαιρεμένης διατομής, λόγω των διαφορετικών συντελεστών Manning, στην κεντρική κοίτη προς την υψομετρική διαφορά των δύο σημείων (Σχ. 3.3).




**Σχήμα 3.3:** Διάγραμμα της κλίσης της όχθης για τον υπολογισμό του συντελεστή $n_c$

Στην περίπτωση που στα διάφορα τμήματα της διατομής έχουμε διαφορετικές τιμές του συντελεστή τραχύτητας, τότε χρησιμοποιείται ένας ισοδύναμος συντελεστής τραχύτητας, ο οποίος δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$n_C = \left[ \frac{\sum_{i=1}^{N} \left( P_i n_i^{1.5} \right)}{P} \right]^{2/3} \tag{3.6}$$

όπου: $n_c$ = ο ισοδύναμος συντελεστής τραχύτητας

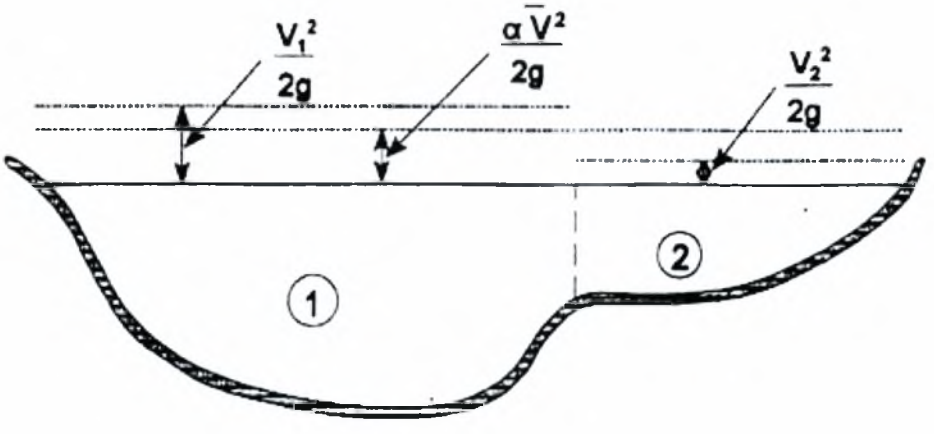
$P$ = η βρεχόμενη περίμετρος της διατομής

$P_i$ = η βρεχόμενη περίμετρος του τμήματος i της διατομής

$n_i$ = ο συντελεστής τραχύτητας του τμήματος i της διατομής

### 3.2.3 Υπολογισμός του μέσου φορτίου κινητικής ενέργειας

Λόγω του ότι το πρόγραμμα επιλύει μόνο την περίπτωση της μονοδιάστατης ροής, σε κάθε διατομή υπολογίζεται μονάχα μία στάθμη ελεύθερης επιφάνειας και ένα μέσο ύψος κινητικής ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, για δεδομένη στάθμη νερού, το μέσο ύψος της ενέργειας να προκύπτει ως μέσος όρος των υψών ενέργειας των διαφόρων τμημάτων της διατομής {Σχ. 3.4).




$V_1$ = mean velocity for subarea 1

$V_2$ = mean velocity for subarea 2

**Σχήμα 3.4:** Υπολογισμός του μέσου φορτίου κινητικής ενέργειας

Για τον υπολογισμό του μέσου ύψους κινητικής ενέργειας υπολογίζεται ο συντελεστής α από τη σχέση:

$$a\,\frac{\overline{V^2}}{2g} = \frac{Q_1\left(\frac{V_1^2}{2g}\right) + Q_2\left(\frac{V_2^2}{2g}\right)}{Q_1 + Q_2} \tag{3.7}$$

$$a = \frac{2g\left[Q_1\left(\frac{V_1^2}{2g}\right) + Q_2\left(\frac{V_2^2}{2g}\right)\right]}{(Q_1 + Q_2)\overline{V^2}} \tag{3.8}$$

$$a = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2}{(Q_1 + Q_2)\overline{V^2}} \tag{3.9}$$

Σε γενική μορφή καταλήγουμε στη σχέση:

$$a = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \ldots + Q_N V_N^2}{Q\overline{V^2}} \tag{3.10}$$

Ο συντελεστής της ταχύτητας α υπολογίζεται με βάση την παροχετευτικότητα στα τρία τμήματα της διατομής: στην κεντρική κοίτη και στις δύο πλημμυρικές κοίτες. Μπορεί επίσης να εκφραστεί με βάση την παροχετευτικότητα και την υγρή επιφάνεια με την ακόλουθη σχέση:

$$a = \frac{(A_t)^2\left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2}\right]}{(K_t)^3} \tag{3.11}$$

όπου: $A_t$ = η ολική υγρή επιφάνεια της διατομής

$A_{lob}$, $A_{ch}$, $A_{rob}$ = οι επιμέρους υγρές επιφάνειες της αριστερής, της κεντρικής και της δεξιάς πλημμυρικής κοίτης

$A_t$ = η ολική παροχετευτικότητα

$A_{lob}$, $A_{ch}$, $A_{rob}$ = η παροχετευτικότητα των επιμέρους τμημάτων της διατομής (αριστερή, κεντρική και δεξιά πλημμυρική κοίτη)

### 3.2.4 Υπολογισμός των απωλειών τριβών

Οι απώλειες τριβής υπολογίζονται από το πρόγραμμα ως το γινόμενο της κλίσεως της πιεζομετρικής γραμμής $S_f$ και του εξεταζόμενου τμήματος L, όπως αυτά ορίζονται στην εξίσωση 3.3. Η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής υπολογίζεται σε κάθε διατομή από τον τύπο του Manning ως εξής:

$$\overline{S_f} = \left(\frac{Q}{K}\right)^2 \tag{3.12}$$

Στο πρόγραμμα υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης και άλλων εκφράσεων της κλίσεως της πιεζομετρικής γραμμής, όπως:

$$\overline{S_f} = \left(\frac{Q_1}{K_1} + \frac{Q_2}{K_2}\right)^2 \tag{3.13}$$

$$\overline{S_f} = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2} \tag{3.14}$$

$$\overline{S_f} = \sqrt{S_{f1} \times S_{f2}} \tag{3.15}$$

$$\overline{S_f} = \frac{2(S_{f1} \times S_{f2})}{S_{f1} + S_{f2}} \tag{3.16}$$

Το πρόγραμμα έχει την δυνατότητα να επιλέγει μια από τις παραπάνω εξισώσεις ανάλογα με την ροή και τον τύπο της. Παρόλα αυτά, χρησιμοποιείται κυρίως η εξίσωση 3.13

### 3.2.5 Υπολογισμός των απωλειών στενώσεων και διευρύνσεων

Οι απώλειες σε στενώσεις και διευρύνσεις στο HEC-RAS υπολογίζονται από την ακόλουθη σχέση:

$$h_0 = c\left|\frac{a_1 V_1^2}{2g} + \frac{a_2 V_2^2}{2g}\right| \qquad (3.17)$$

όπου: c = είναι ο συντελεστής στενώσεως ή διευρύνσεως

Το πρόγραμμα θεωρεί ότι έχουμε στένωση όταν το φορτίο της κινητικής ενέργειας κατάντη είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ανάντη. Αντίστοιχα, όταν το φορτίο της κινητικής ενέργειας ανάντη είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κατάντη τότε το πρόγραμμα θεωρεί ότι έχουμε διεύρυνση. Όταν η αλλαγή στο σχήμα μιας διατομής από την επόμενη της είναι μικρή και η ροή είναι υποκρίσιμη, τότε οι συντελεστές συστολής και διαστολής είναι ίσοι με 0.1 και 0.3 αντίστοιχα. Σε πιο απότομες αλλαγές όπως συμβαίνει στις γέφυρες οι χρησιμοποιούμενες τιμές είναι 0.3 και 0.5 αντίστοιχα.

Η μεγαλύτερη τιμή για τους συντελεστές συστολής και διαστολής είναι 1. Γενικά, οι εμπειρικές τιμές για τους συντελεστές συστολής και διαστολής θα πρέπει να είναι χαμηλότερες για την υπερκρίσιμη ροή. Στην υπερκρίσιμη ροή η ταχύτητες είναι μεγαλύτερες, ενώ οι αλλαγές στο βάθος μπορούν να προκαλέσουν ακόμη μεγαλύτερες αλλαγές στην ταχύτητα. Στην υποκρίσιμη ροή, εάν χρησιμοποιηθούν οι συντελεστές συστολής και διαστολής, μπορεί να υπάρξει υπερεκτίμηση των ενεργειακών απωλειών καθώς και διακύμανση στο υπολογισμένο προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας. Σε τραπεζοειδής και τριγωνικές διατομές, σχεδιασμένες για υπερκρίσιμη ροή, ο χρήστης θα

πρέπει να θέσει τους συντελεστές συστολής και διαστολής ίσους με το μηδέν, εάν η γεωμετρία μεταξύ δυο συνεχόμενων διατομών δεν αλλάζει. Σε αντίθετη περίπτωση, οι συντελεστές συστολής και διαστολής είναι 0.05 και 0.10 αντίστοιχα. Σε πιο απότομες αλλαγές οι χρησιμοποιούμενες τιμές είναι 0.1 και 0.2 αντίστοιχα. Τέλος, αν δεν υφίσταται συστολή ή διαστολή ανάμεσα σε δυο διαδοχικές διατομές οι συντελεστές τους είναι ίση με 0, για υπερκρίσιμη ροή.

### 3.2.6 Διαδικασία υπολογισμού

Η άγνωστη στάθμη του νερού σε κάθε διατομή προσδιορίζεται από μια επαναληπτική επίλυση των εξισώσεων 3.1 και 3.2. Η υπολογιστική διαδικασία περιγράφεται αναλυτικά μέσα από την αλληλουχία των παρακάτω βημάτων:

1. Γίνεται δεκτή μια αρχική στάθμη νερού στην ανάντη διατομή αν ο υπολογισμός γίνεται για υποκρίσιμη ροή (ή αντίστοιχα στην κατάντη για υπερκρίσιμη κατάσταση ροής).
2. Με βάση την παραπάνω στάθμη του νερού προσδιορίζεται η αντίστοιχη παροχετευτικότητα και το φορτίο της κινητικής ενέργειας.
3. Με τις τιμές του βήματος 2 προσδιορίζεται η κλίση και επιλύεται η εξίσωση 3.2 ως προς το άγνωστο $h_e$.
4. Με τις τιμές που προκύπτουν από τα βήματα 2, 3 επιλύεται η εξίσωση 3.1 με άγνωστη τη νέα διορθωμένη τιμή του $WS_2$.
5. Συγκρίνεται η υπολογισθείσα τιμή από τα στάδια 2 έως 4 με την τιμή που γίνεται αρχικά δεκτή στο στάδιο 1. Τα βήματα 1 έως 5 επαναλαμβάνονται μέχρι η διαφορά των δύο σταθμών να είναι μικρότερη από 3 mm ή από ένα άλλο κριτήριο ανοχής του χρήστη.

Το κριτήριο που χρησιμοποιείται κάθε φορά για την αρχική εκτίμηση της στάθμης στο στάδιο 1 διαφέρει μέσα στην επαναληπτική διαδικασία που εκτελείται. Στην πρώτη προσπάθεια, η στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας λαμβάνεται από το βάθος ροής της προηγούμενης διατομής προσαρμοσμένο στη γεωμετρία της εξεταζόμενης διατομής.

Στην δεύτερη προσπάθεια η στάθμη λαμβάνεται ίση με την στάθμη της πρώτης προσπάθειας συν 70% του λάθους της πρώτης προσπάθειας (υπολογισθείσα τιμή -αρχική τιμή). Ισχύει δηλαδή η ακόλουθη σχέση:

$$WS_{νέα} = WS_{αρχική} + 0.70\,(WS_{υπολογισθείσα} - WS_{αρχική}) \qquad (3.18)$$

Από την τρίτη προσπάθεια και για όλες τις υπόλοιπες ακολουθείται η μέθοδος της τέμνουσας καμπύλης (secand method), κατά την οποία έχουμε μια αναγωγή της μεταβολής της διαφοράς ανάμεσα στην υπολογισθείσα και την υποτιθέμενη στάθμη που έχουμε λάβει στις δύο τελευταίες προσπάθειες. Η εξίσωση που εφαρμόζεται στην περίπτωση της τέμνουσας καμπύλης είναι η ακόλουθη:

$$WS_I = WS_{I-2} - Err_{I-2} * Err\ Assum / Err\ Diff \qquad (3.19)$$

όπου : $WS_I$ = η νέα αρχική στάθμη

$WS_{I-1}$ = η αρχική στάθμη της προηγούμενης δοκιμής

$WS_{I-2}$ = η αρχική στάθμη από τη δεύτερη προηγούμενη δοκιμή

$Err_{I-2}$ = το σφάλμα από τις δύο προηγούμενες δοκιμές (υπολογισθείσα αρχική τιμή από την 1-2 δοκιμή)

Err Assum = η διαφορά στις στάθμες από ης δύο προηγούμενες προσπάθειες

$Err\ Assum = WS_{I-2} - WS_{I-1}$

Err Diff = η αρχική στάθμη μείον της υπολογισθείσα στάθμη από τη προηγούμενη δοκιμή (I-1), συν το σφάλμα από τις δύο προηγούμενες δοκιμές ( $Err_{I-2}$)

$Err\ Diff = WS_{I-1} - WS\ Calc_{I-1} + Err_{I-2}$

Η διαφορά από τη μία προσπάθεια με την επόμενη βρίσκεται υπό τον περιορισμό του ± 50% της αρχικής στάθμης από την προηγούμενη δοκιμή. Μια περίπτωση κατά την οποία η μέθοδος μπορεί να αποτύχει είναι εκείνη, όπου η τιμή της Err Diff γίνεται πολύ

μικρή και όταν η τιμή αυτή γίνει μικρότερη από 0.01, τότε η μέθοδος της τέμνουσας καμπύλης παύει να εφαρμόζεται. Στην περίπτωση αυτή το πρόγραμμα υπολογίζει μια νέα τιμή από το μέσο όρο της αρχικής και της υπολογισθείσας από την προηγούμενη δοκιμή.

Το πρόγραμμα μπορεί να εκτελέσει από τρεις έως και σαράντα διαδοχικές προσεγγίσεις (3 - 40) των οποίων ο αριθμός προκαθορίζεται ώστε να ικανοποιηθεί το κριτήριο σύγκλισης. Στην περίπτωση που το πρόγραμμα εκτελέσει το μέγιστο αριθμό επαναλήψεων σε μία θέση, χωρίς να επέλθει η απαιτούμενη σύγκλιση, τότε θα χρησιμοποιήσει το κρίσιμο βάθος στη θέση αυτή. Βέβαια, για το πρόγραμμα η χρησιμοποίηση του κρίσιμου βάθους δεν αποτελεί έγκυρη λύση, γι'αυτό και εμφανίζεται ένα προειδοποιητικό μήνυμα.

Το πρόγραμμα ελέγχει εάν η ελεύθερη επιφάνεια είναι πάνω από το κρίσιμο βάθος, εφόσον ο χρήστης έχει επιλέξει υποκρίσιμη ροή και αντίστοιχα αν η ελεύθερη επιφάνεια είναι κάτω από το κρίσιμο βάθος, εφόσον ο χρήστης έχει επιλέξει υπερκρίσιμη ροή. Εάν αυτό δε συμβαίνει, τότε το πρόγραμμα εμφανίζει και πάλι ένα προειδοποιητικό μήνυμα.

Για να επιβεβαιωθεί από το πρόγραμμα ότι το προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας είναι υποκρίσιμο, ελέγχεται ο αριθμός Froude. Υπολογίζεται ο αριθμός Froude, και αν είναι μεγαλύτερος από 0.94, και όχι 1 για πιο συντηρητικούς υπολογισμούς, τότε το πρόγραμμα ελέγχει τη ροή υπολογίζοντας, με μια πιο ακριβή εκτίμηση, το κρίσιμο βάθος.

Για υπερκρίσιμη ροή, υπολογίζεται αυτόματα το κρίσιμο βάθος για κάθε διατομή.

### 3.2.7 Προσδιορισμός του κρίσιμου βάθους

Ο προσδιορισμός του κρίσιμου βάθους γίνεται κάτω από τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

1) Έχει προδιαγραφεί κατάσταση υπεκρίσιμης ροής.
2) Ο υπολογισμός του έχει ζητηθεί για έλεγχο των αποτελεσμάτων (αποτελεί οριακή συνθήκη ελέγχου και πρέπει να ελεγχθεί εάν οι οριακές συνθήκες ανταποκρίνονται στην

κατάσταση ροής).

3) Ο έλεγχος με τον αριθμό Froude για υποκρίσιμη ροή δείχνει ότι πρέπει να προσδιοριστεί το κρίσιμο βάθος για να επιβεβαιωθεί το καθεστώς ροής που επικρατεί με τις στάθμες που έχουν υπολογιστεί.
4) Το πρόγραμμα δε μπορεί να επιλύσει την εξίσωση ενέργειας μέσα στα προκαθορισμένα όρια χωρίς να υπερβεί το μέγιστο αριθμό επαναλήψεων.

Το ολικό ύψος ενέργειας σε μία διατομή δίνεται από τη σχέση:

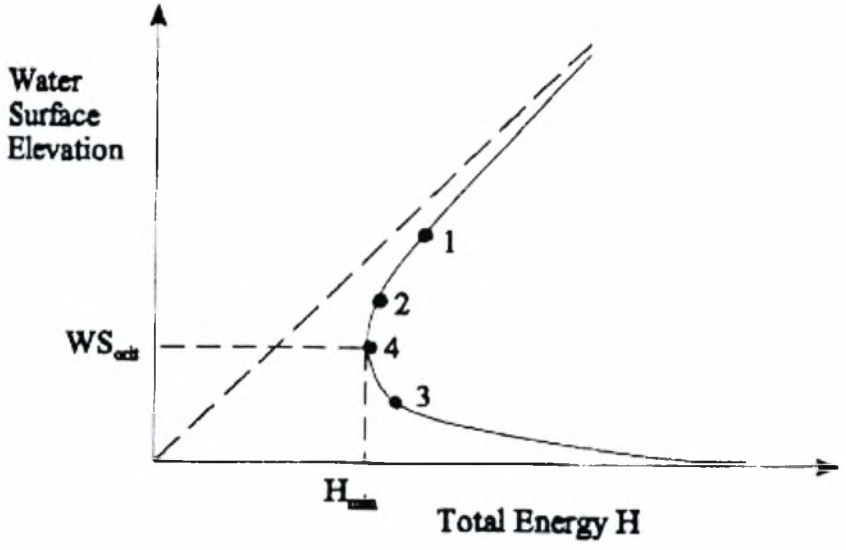
$$H = WS + \frac{aV^2}{2g} \tag{3.20}$$

όπου : $H$ = το ολικό φορτίο ενέργειας

$WS$ = η στάθμη της επιφάνειας του νερού

$\frac{aV^2}{2g}$ = το φορτίο λόγω ταχύτητας

Η κρίσιμη στάθμη της επιφάνειας του νερού είναι η στάθμη για την οποία το συνολικό ύψος ενέργειας είναι ελάχιστο. Η κρίσιμη στάθμη προσδιορίζεται με μια επαναληπτική διαδικασία όπου θεωρούνται τιμές της στάθμης και προσδιορίζονται αντίστοιχες τιμές του Η από την εξίσωση 3.20, έως ότου επιτευχθεί μια ελάχιστη τιμή για το Η. Χαρακτηριστικό είναι το σχήμα 3.5 που ακολουθεί.




**Σχήμα 3.5:** Διάγραμμα μεταβολής της ενέργειας σε συνάρτηση με τη στάθμη του νερού

Το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα προσδιορισμού του κρίσιμου βάθους με δύο μεθόδους. Η πρώτη είναι η μέθοδος της τέμνουσας καμπύλης και η δεύτερη η παραβολική μέθοδος. Η παραβολική μέθοδος, η οποία είναι και η πιο γρήγορη, έχει τον περιορισμό του προσδιορισμού μιας μόνο ελάχιστης τιμής στην καμπύλη ενέργειας. Στην εξεταζόμενη περίπτωση του ποταμού Άναυρου, λόγω της παρουσίας μεγάλων εκατέρωθεν πλημμυρικών κοιτών και αναχωμάτων, είναι δυνατό να εμφανιστούν περισσότερα του ενός ελάχιστα στην καμπύλη ενέργειας. Για το λόγο η μέθοδος που εφαρμόζεται είναι η secant (αντίστροφο συνημιτόνου γωνία, κάθετη ευθεία σε εφαπτομένη .

### 3.2.8 Εφαρμογή της εξισώσεως διατήρησης της ορμής

Στις περιπτώσεις στις οποίες η ελεύθερη επιφάνεια του νερού περνάει από το κρίσιμο βάθος, η εξίσωση ενέργειας δεν είναι εφαρμόσιμη, καθώς η εξίσωση ενέργειας προϋποθέτει συνθήκες βαθμιαίας μεταβαλλόμενης ροής, και η μετάβαση από υποκρίσιμη

σε υπερκρίσιμη, ή από υπερκρίσιμη σε υποκρίσιμη ροή αποτελεί κατάσταση ταχέως μεταβαλλόμενης ροής. Τέτοιες περιπτώσεις ταχέως μεταβαλλόμενης ροής μπορούν να εμφανιστούν σε πλήθος περιπτώσεων όπως σε στενώσεις γεφυρών, σε έντονες τοπικές κατά μήκος κλίσεις, σε αναβαθμούς, σε συμβολές ρευμάτων κ.α.. Σε ορισμένες των παραπάνω περιπτώσεων (π.χ. σε περιπτώσεις αναβαθμών) μπορούν να χρησιμοποιηθούν εμπειρικές εξισώσεις ενώ σε άλλες πρέπει να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση διατήρησης της ορμής.

Στο πρόγραμμα η εξίσωση διατήρησης της ορμής μπορεί να εφαρμοστεί για τις εξής ακόλουθες περιπτώσεις:

- Σε εμφάνιση υδραυλικού άλματος
- Σε περιπτώσεις ροής σε θέσεις γεφυρών
- Σε συμβολές υδατορευμάτων

Η εξίσωση διατήρησης της ορμής είναι αποτέλεσμα του δεύτερου νόμου του Newton

Δύναμη = μάζα * επιτάχυνση ή

$$\Sigma Fx = m * \alpha \tag{3.21}$$

Εφαρμόζοντας το δεύτερο νόμο της κίνησης του Newton σε ένα όγκο νερού μεταξύ δύο διατομών 1 και 2, η μεταβολή της ορμής στη μονάδα του χρόνου δίνεται από τη σχέση (σχήμα 3.6):

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q * p * \Delta V_X \tag{3.22}$$

όπου: $P$ = η υδροστατική πίεση στις θέσεις 1και 2

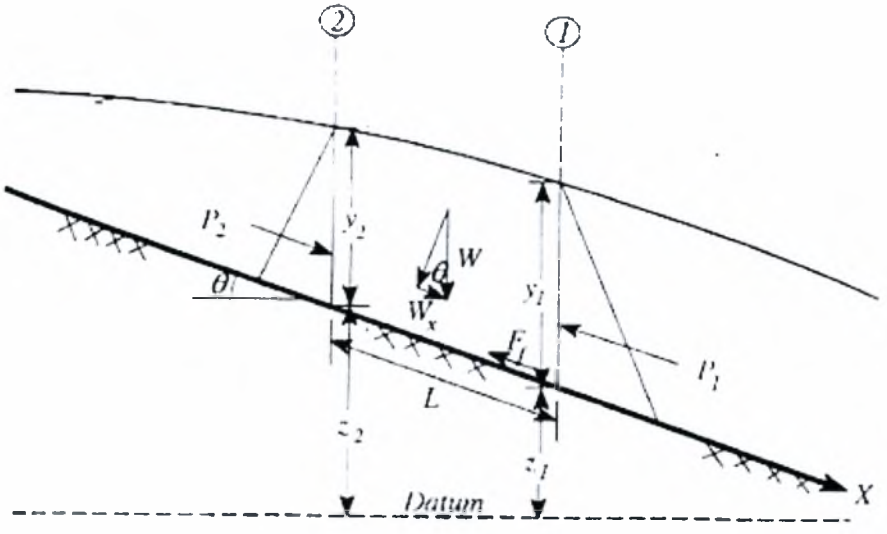
$W_x$ = η δύναμη από το βάρος του νερού στη διεύθυνση x

$F_f$ = η δύναμη λόγω απώλειας τριβής μεταξύ των θέσεων 1 και 2

Q = η παροχή

ρ = η πυκνότητα του νερού

$\Delta V_x$ = η μεταβολή της ταχύτητας μεταξύ των θέσεων 1 και 2 κατά τη διεύθυνση x




**Σχήμα 3.6 :** Σχηματική παράσταση της εφαρμογής της αρχής διατήρησης της ορμής

Υδροστατική πίεση

Η δύναμη κατά τη X διεύθυνση λόγω της υδροστατικής πίεσης είναι:

$$P = \gamma A \overline{Y} \cos\theta \tag{3.23}$$

Η υπόθεση για την υδροστατική κατανομή της πίεσης ισχύει μόνο για κλίσεις μικρότερες από 1:10. Το συνημίτονο θ για κλίση 1:10 είναι 0.995. Επειδή οι κλίσεις των συνήθων υδατορευμάτων είναι πολύ μικρότερες του 1:10, το συνημίτονο θ είναι ίσο με 1. Επομένως, οι εξισώσεις για την υδροστατική πίεση στα σημεία 1 και 2 είναι:

$$P_1 = \gamma A \overline{Y}_1 \tag{3.24}$$

$$P_2 = \gamma A \overline{Y}_2 \tag{3.25}$$

όπου: $\gamma$ = ειδικό βάρος νερού

$A_i$ = υγρή επιφάνεια της διατομής στα σημεία 1 και 2

$\overline{Y}i$ = το βάθος μετρημένο από την ελεύθερη επιφάνεια στο κέντρο της διατομής στα σημεία 1 και 2

Δύναμη της βαρύτητας

$$W = \gamma\left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right)L \tag{3.26}$$

$$W_X = W \times \sin\theta \tag{3.27}$$

$$\sin\theta = \frac{z_2 - z_1}{L} = S_0 \tag{3.28}$$

$$W_X = \gamma\left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) L\, S_0 \tag{3.29}$$

όπου: L = απόσταση μεταξύ των σημείων 1 και 2 κατά μήκος του άξονα X

$S_0$ = κλίση του υδατορεύματος

$z_i$ = μέσο υψόμετρο στα σημεία 1 και2

Δύναμη εξωτερικής τριβής

$$F_f = \tau \overline{P} L \tag{3.30}$$

όπου: $\tau$ = διατμητική τάση

$\overline{P}$ = μέσος όρος της βρεχόμενης περιμέτρου ανάμεσα στα σημεία 1 και 2

$$\tau = \gamma \overline{R}\ \overline{S_f} \tag{3.31}$$

όπου: $\overline{R}$ = μέση υδραυλική ακτίνα (R = A/P)

$\overline{S_f}$ = κλίση της γραμμής ενέργειας

$$F_f = \gamma \frac{\overline{A}}{\overline{P}}\ \overline{S_f}\ \overline{P} L \tag{3.32}$$

$$F_f = \gamma \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) \overline{S_f}\ L \tag{3.33}$$

Επιτάχυνση της μάζας

$$ma = Q\rho\Delta V_X \tag{3.34}$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \qquad \text{και} \qquad \Delta V_X = (\beta_1 V_1 - \beta_2 V_2)$$

$$ma = \frac{Q\gamma}{g}(\beta_1 V_1 - \beta_2 V_2) \tag{3.35}$$

όπου: $\beta$ = συντελεστής της διακύμανσης της ταχύτητας σε υδατόρευμα

$$\gamma A_2 \overline{Y}_2 - \gamma A_1 \overline{Y}_1 + \gamma \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) LS_0 - \gamma \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) \overline{S_f} = \frac{Q_1 \gamma}{g} \beta_1 V_1 - \frac{Q_2 \gamma}{g} \beta_2 V_2 \qquad (3.36)$$

$$\frac{Q_2}{g} \beta_2 V_2 + A_2 \overline{Y}_2 + \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) LS_0 - \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) \overline{S_f} = \frac{Q_1}{g} \beta_1 V_1 + A_1 \overline{Y}_1 \qquad (3.37)$$

$$\frac{Q_2^2 B_2}{g A_2} + A_2 \overline{Y_2} + \left[ \frac{A_1 + A_2}{2} \right] LS_O - \left[ \frac{A_1 + A_2}{2} \right] LS_f = \frac{Q_1^2 B_1}{g A_1} + A_1 \overline{Y_1} \qquad (3.38)$$

όπου:

| | | |
|---|---|---|
| | Q | = η παροχή |
| | A | = το εμβαδόν υγρής διατομής |
| | $\overline{Y}$ | = το βάθος μετρούμενο από την ελεύθερη επιφάνεια μέχρι το κέντρο βάρους της διατομής |
| | L | = το μήκος μεταξύ των θέσεων 1 και 2 στην διεύθυνση x |
| | $S_o$ | = η κλίση του πυθμένα |
| | B | = συντελεστής ορμής λόγω μεταβολής της ταχύτητας |
| | $S_f$ | = η κλίση της γραμμής ενέργειας |

Η εξίσωση 3.38 είναι η εξίσωση που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για την εφαρμογή της αρχής διατήρησης της ορμής.

### 3.2.9 Υδραυλική προσομοίωση γεφυρών

Ένα από τα πιο σημαντικά σημεία της αριθμητικής προσομοίωσης της ελεύθερης ροής φυσικών υδατορευμάτων με το πρόγραμμα HEC-RAS, είναι η προσομοίωση γεφυρών και κατασκευών που μπορεί να βρίσκονται στην πλημμυρική κοίτη. Στην εξεταζόμενη περίπτωση του ποταμού Αναύρου έχουμε τρεις γέφυρες, οι οποίες βρίσκονται στη συμβολή των οδών, Αναλήψεως, Γιάννη Δήμου και του Περιφερειακού δρόμου με τον

ποταμό. Λόγω του μικρού εξεταζόμενου μήκους η παρουσία των γεφυρών επηρεάζει καταλυτικά τη ροή και τα σχεδιαζόμενα αντιπλημμυρικά έργα.

Γενικά το υδραυλικό πρόγραμμα HEC-RAS υπολογίζει τις απώλειες ενέργειας από κατασκευές, όπως γέφυρες, σε τρία τμήματα. Το πρώτο τμήμα περιλαμβάνει τις απώλειες αμέσως κατάντη από τη γέφυρα, όπου λαμβάνει χώρα μία διαστολή της ροής. Το δεύτερο τμήμα αποτελείται από τις απώλειες από την ίδια τη γέφυρα, το οποίο μπορεί να προσδιοριστεί με πολλές μεθόδους. Το τρίτο τμήμα συνίσταται στις απώλειες αμέσως ανάντη της γέφυρας όπου έχουμε στένωση της ροής λόγω της παρουσίας των βάθρων και των ανοιγμάτων της γέφυρας.

### 3.2.10 Διατομές ελέγχου σε θέσεις γεφυρών

Η διερεύνηση των συνθηκών ροής σε θέσεις γεφυρών γίνεται από το πρόγραμμα με χρήση της εξισώσεως ενέργειας ή της εξισώσεως ποσότητας κίνησης, ανάλογα με τον τύπο της ροής στην εξεταζόμενη θέση. Ο υπολογισμός μπορεί να γίνει για ελεύθερη ροή, ροή υπό πίεση και υπερχείλιση με σύγχρονη ροή υπό πίεση. Στους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται 4 διατομές όπως φαίνεται στο σχήμα 3.6. Αναλυτικά οι τέσσερις διατομές τοποθετούνται στις εξής θέσεις:

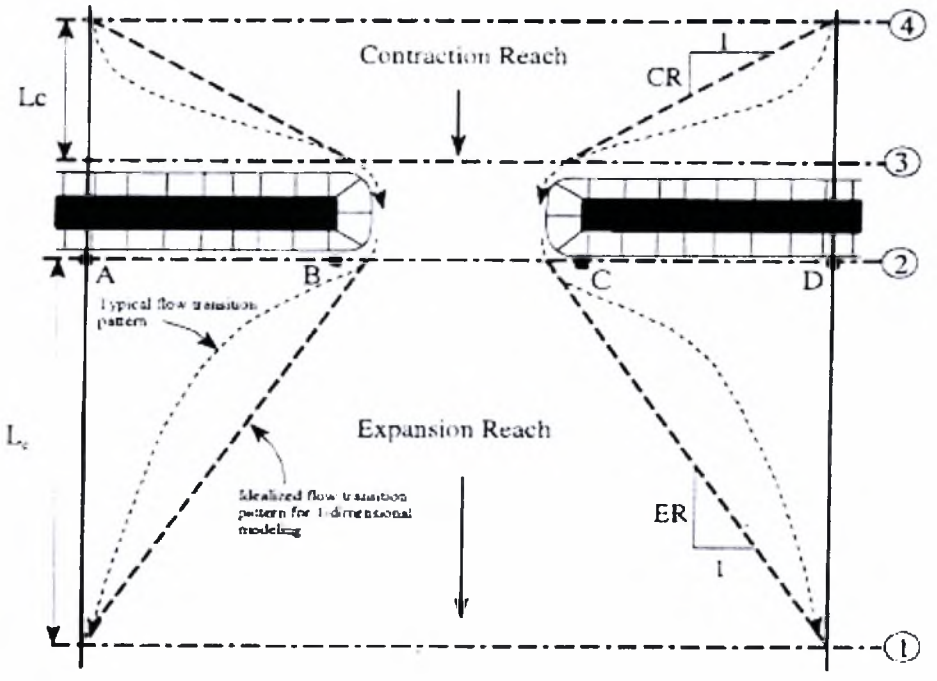
**Η διατομή 1** τοποθετείται ακριβώς κατάντη της γέφυρας, σε απόσταση τέτοια ώστε η ροή να μη επηρεάζεται από τη γέφυρα ( έχει πλήρως διευρυνθεί). Η απόσταση αυτή (το μήκος διεύρυνσης) πρέπει να προσδιορίζεται από μετρήσεις πεδίου κατά τη διάρκεια μεγάλων ροών. Εάν παρατηρήσεις πεδίου δεν είναι εφικτές, τότε υπάρχουν αρκετά κριτήρια για τον προσδιορισμό του μήκους αυτού. Η πλέον αποδεκτή απόσταση για την τοποθέτηση της διατομής 1 είναι τέσσερις (4) φορές το μήκος των ακροβάθρων της γέφυρας (4 AB ή 4 CD). Γενικά το μήκος της πλήρους διεύρυνσης της ροής εξαρτάται από παράγοντες όπως το μέγεθος και το σχήμα των αναχωμάτων, των ακροβάθρων, το μέγεθος της παροχής που διέρχεται από τη γέφυρα και την ταχύτητα την οποία έχει.

**Η διατομή 2** τοποθετείται σε μικρή απόσταση κατάντη από την γέφυρα (στις περισσότερες περιπτώσεις τοποθετείται στον κατάντη πόδα της γέφυρας). Αυτή η διατομή αποτελεί και την ενεργό διατομή του ποταμού αμέσως κατάντη από τη γέφυρα.

**Η διατομή 3** τοποθετείται σε μικρή απόσταση ανάντη της γέφυρας (στον ανάντη πόδα της γέφυρας). Η διατομή αυτή αποτελεί σε αντιστοιχία με τη διατομή 2 την ενεργό διατομή του ποταμού ανάντη της γέφυρας. Και οι δύο τελευταίες διατομές (2 και 3) θα πρέπει να έχουν μη ενεργά τμήματα ροής σε κάθε πλευρά του ανοίγματος της γέφυρας για την αντιμετώπιση περιπτώσεων χαμηλής ροής και ροής υπό πίεση. Για το λόγο αυτό θα πρέπει, στο μοντέλο που δημιουργείται μέσα στο HEC-RAS, να τοποθετηθούν μη ενεργές περιοχές ροής εκατέρωθεν του ανοίγματος της γέφυρας και στις δύο διατομές.

**Η διατομή 4** είναι μια ανάντη διατομή της γέφυρας στην οποία οι γραμμές ροής είναι παράλληλες και η διατομή είναι ενεργός σε κάθε σημείο της. Γενικά το μήκος της στένωσης είναι μικρότερο από εκείνο της διεύρυνσης. Το μήκος της στένωσης της υδάτινης φλέβας συνίσταται να λαμβάνεται από παρατηρήσεις πεδίου. Όταν δεν υπάρχουν κατάλληλα στοιχεία συνίσταται να λαμβάνεται ίσο με το μήκος των αναχωμάτων των ακροβάθρων της γέφυρας AB ή CD.

Κατά τη διάρκεια των υδραυλικών υπολογισμών το πρόγραμμα συνθέτει δύο ακόμα διατομές μέσα στη διατομή της γέφυρας. Οι διατομές αυτές αποτελούν συνδυασμό των γεωμετρικών στοιχείων της γέφυρας και των διατομών 2 και 3 αντίστοιχα. Η γεωμετρία της γέφυρας περιλαμβάνει το κατάστρωμα της, τα βάθρα της με τις κλίσεις τους και τυχόν υποστυλώματα ή μεσόβαθρα που υπάρχουν.



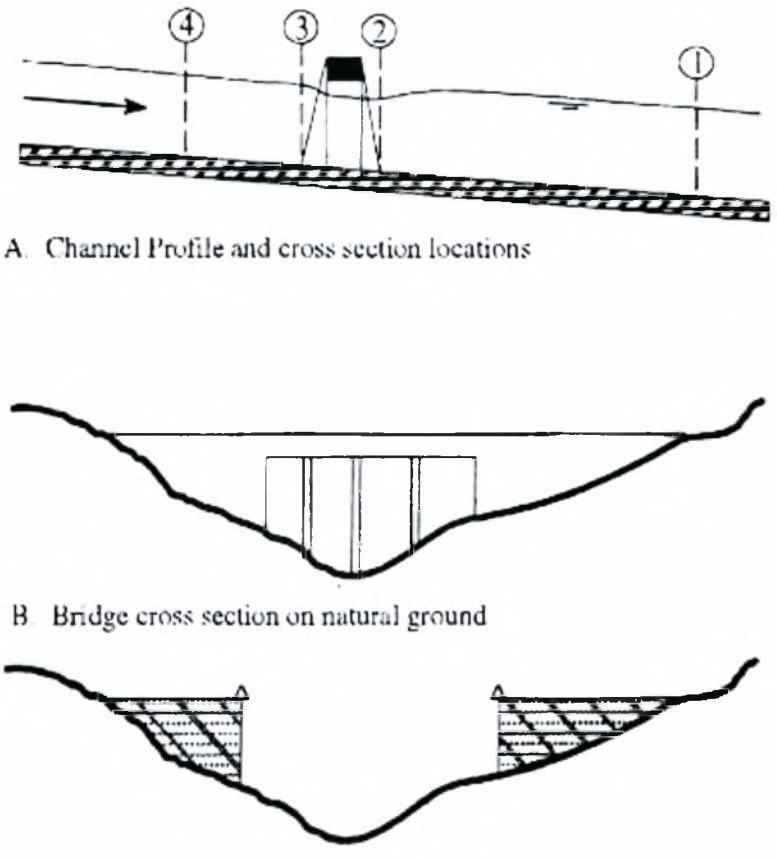

**Σχήμα 3.7:** Θέσεις διατομών υπολογισμού σε θέση γέφυρας

### 3.2.11 Προσδιορισμός των μη ενεργών τμημάτων

Ένα βασικό πρόβλημα που αντιμετωπίζεται κατά τη μελέτη της ροής σε θέσεις γεφυρών είναι ο προσδιορισμός των μη ενεργών τμημάτων των διατομών 2 και 3. Στο σχήμα 3.7 οι διακεκομμένες γραμμές συμβολίζουν τη ροή μέσα από το άνοιγμα της γέφυρας. Εύκολα αντιλαμβανόμαστε ότι οι περιοχές πέρα του ορίου της ροής δε θα πρέπει να συμπεριληφθούν στις διατομές 2 και 3 ως τμήματα χαμηλής ροής και ροής υπό πίεση.

Στο σχήμα 3.8 εμφανίζεται ένα τυπικό παράδειγμα όπου έχουμε γέφυρα στην κοίτη του ποταμού με τα ακρόβαθρα να εκτείνονται σε όλο το μήκος της πλημμυρικής κοίτης. Η αρίθμηση των διατομών είναι αντίστοιχη με αυτή του σχήματος 3.7. Το πρόβλημα που καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε είναι η μετατροπή του φυσικού προφίλ Β του σχήματος μέσα στο πρόγραμμα σε αυτό του Α. Αυτό γίνεται με το ορισμό περιοχών μη ενεργών στις διατομές 2 και 3. Το μέγιστο ύψος των περιοχών αυτών λαμβάνεται τέτοιο, ώστε σε περιπτώσεις ροής πάνω από τη γέφυρα, οι περιοχές εκατέρωθεν του

ανοίγματος της γέφυρας να μη θεωρούνται πλέον ως μη ενεργές και να συμπεριφέρονται ως περιοχές κανονικής ροής.




**Σχήμα 3.8 :** Διατομές κοντά σε περιοχές γεφυρών

Το πρόγραμμα θεωρεί ότι έχουμε στένωση όταν το φορτίο της κινητικής ενέργειας κατάντη είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ανάντη. Αντίστοιχα, όταν το φορτίο της κινητικής ενέργειας ανάντη είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κατάντη τότε το πρόγραμμα θεωρεί ότι έχουμε διεύρυνση. Όταν η αλλαγή στο σχήμα μιας διατομής από την επόμενη της είναι μικρή και η ροή είναι υποκρίσιμη, τότε οι συντελεστές συστολής και διαστολής είναι ίσοι με 0.1 και 0.3 αντίστοιχα. Σε πιο απότομες αλλαγές όπως συμβαίνει στις γέφυρες οι χρησιμοποιούμενες τιμές είναι 0.3 και 0.5 αντίστοιχα.

Πίνακας 3.1: Συντελεστές συστολής και διαστολής για υποκρίσιμη ροή

| | **Συστολή** | **Διαστολή** |
|---|---|---|
| Καμία αλλαγή | 0.0 | 0.0 |
| Σταδιακές αλλαγές | 0.1 | 0.3 |
| Τυπικές διατομές γεφυρών | 0.3 | 0.5 |
| Απότομες αλλαγές | 0.6 | 0.8 |

### 3.2.12 Υδραυλικοί υπολογισμοί σε θέσεις γεφυρών

Το πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα να αντιμετωπίζει τη προσομοίωση γεφυρών με πολλές διαφορετικές μεθόδους χωρίς να μεταβάλλει τη γεωμετρία της γέφυρας. Μπορούν να αντιμετωπιστούν περιπτώσεις χαμηλής ροής, χαμηλής ροής και ροής με υπερχείλιση, ροής με πίεση, ροής με πίεση και υπερχείλιση κ.α. Στη συνέχεια θα δούμε αναλυτικά τις παραπάνω περιπτώσεις όπως και τους τρόπους που προσομοιώνονται και τις εξισώσεις που χρησιμοποιούνται.

#### 3.2.12.1 Υπολογισμοί για περιπτώσεις χαμηλής ροής

Χαμηλή ροή θεωρούμε ότι συμβαίνει σε περιπτώσεις όπου η ροή διέρχεται από το άνοιγμα της γέφυρας ως ροή με ελεύθερη επιφάνεια (η στάθμη είναι χαμηλότερη από το κάτω τμήμα του καταστρώματος της γέφυρας). Για αυτή την περίπτωση ροής το πρόγραμμα χρησιμοποιεί αρχικά την εξίσωση διατήρησης της ορμής για να προσδιορίσει τον τύπο της ροής. Αυτό γίνεται με προσδιορισμό της ορμής στο κρίσιμο βάθος στο κατάντη και στο ανάντη τμήμα της γέφυρας. Το τμήμα με τη μεγαλύτερη ορμή είναι αυτό που θα ελέγχει τη γέφυρα. Εάν και τα δύο τμήματα είναι ιδανικά τότε το πρόγραμμα επιλέγει αυτόματα το ανάντη τμήμα της γέφυρας. Η ορμή στο κρίσιμο βάθος που έχει επιλεγεί συγκρίνεται με την ορμή της ροής κατάντη της γέφυρας όταν ο υπολογισμός

γίνεται για υποκρίσιμη ροή (αντιστρόφως για υπερκρίσιμη ροή). Εάν η ορμή κατάντη είναι μεγαλύτερη από αυτή του κρίσιμου βάθους τότε η ροή θεωρείται τελείως υποκρίσιμη (τάξης Α), ενώ ισχύει το αντίστροφο τότε θεωρείται ότι η παρουσία της γέφυρας θα οδηγήσει στο πέρασμα ροής από το κρίσιμο βάθος και θα έχουμε την εμφάνιση υδραυλικού άλματος σε κάποια απόσταση κατάντη (ροή τάξης Β). Τέλος υπάρχει η περίπτωση η ροή μέσα από τη γέφυρα να είναι τελείως υπερκρίσιμη οπότε έχουμε ροή τάξης Γ.

**Ροή τάξης Α.** Η ροή τύπου Α εμφανίζεται σε περιπτώσεις όπου η επιφάνεια της ροής είναι πολύ κάτω από το κρίσιμο βάθος. Στην περίπτωση αυτή, οι απώλειες ενέργειας κατά το πέρασμα της ροής μέσα από τη στένωση και τη διεύρυνση υπολογίζονται ως απώλειες ενέργειας λόγω τριβής και στένωσης ή διεύρυνσης. Τέσσερις είναι οι μέθοδοι που μπορούν να εφαρμοστούν για τον υπολογισμό των απωλειών στην περίπτωση αυτή.

- Η εξίσωση της ενέργειας (standard step method)
- Η διατήρηση της ορμής
- Η εξίσωση του Yarnell
- Η μέθοδος FHWA WSPRO

Για την επίλυση του προβλήματος το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα της επιλογής όλων των μεθόδων και τελικά να εφαρμοστεί η μέθοδος με τη μικρότερη απώλειας ενέργειας. Αναλυτικά οι παραπάνω μέθοδοι έχουν ως εξής:

Standard step method

Η μέθοδος διατήρησης της ενέργειας αντιμετωπίζει την περίπτωση της γέφυρας με τον ίδιο τρόπο που αντιμετωπίζει τα φυσικά υδατορεύμματα, εκτός από το τμήμα κάτω από τη γέφυρα όπου η βρεχόμενη περίμετρος αυξάνεται κατά την επαφή του νερού με το σώμα της γέφυρας. Όπως έχει αναφερθεί το πρόγραμμα δημιουργεί αυτόματα δύο

διατομές συνδυάζοντας τις διατομές 2 και 3 και τη γεωμετρία της γέφυρας. Αυτές οι δύο διατομές μπορούν να φανούν στη σχήμα 3.9 ως BD και BU.

Η διαδικασία του υπολογισμού αρχίζει με την εφαρμογή της μεθόδου για το τμήμα από τη διατομή 2 έως τη διατομή BD. Στη συνέχεια ακολουθεί το τμήμα από τη διατομή BD έως τη BU. Ο τελευταίος υπολογισμός περιλαμβάνει το τμήμα από τη διατομή BU έως τη διατομή 3 ανάντη της γέφυρας. Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται ο προσδιορισμός του αριθμού του Manning για τον υπολογισμό των απωλειών τριβής καθώς και οι συντελεστές στένωσης και διεύρυνσης για τον προσδιορισμό των απωλειών λόγω των αντίστοιχων καταστάσεων.

Μέθοδος διατήρησης της ορμής

Η μέθοδος διατήρησης της ορμής στηρίζεται στην αρχή διατήρησης της ορμής μεταξύ των διατομών 2 και 3. Η όλη μέθοδος εφαρμόζεται σε τρία βήματα. Το πρώτο εφαρμόζει την αρχή διατήρησης της ορμής μεταξύ των διατομών 2 και BD μέσα στο σώμα της γέφυρας. Η εξίσωση που εφαρμόζεται είναι η ακόλουθη:

$$A_{BD}\,\overline{Y_{BD}} + \frac{\beta_{BD}Q_{BD}^2}{GA_{BD}} = A_2\,\overline{Y_2} - A_{PBD}\,\overline{Y}\,p_{BD} + \frac{B_2Q_2^2}{gA_2} + F_f - W_X \qquad (3.39)$$

οπού: $A_2$, $A_{BD}$ = το ενεργό τμήμα της ροής στις διατομές 2 και BD αντίστοιχα

$A_{PBD}$ = το τμήμα που καταλαμβάνουν τα μεσόβαθρα κατάντη

$Y_2$, $Y_{BD}$ = η κατακόρυφη απόσταση από την επιφάνεια του νερού στο κέντρο βάρους των τμημάτων ροής A2 και $A_{BD}$ αντίστοιχα.

$Y_{BD}$ = η κατακόρυφη απόσταση από την επιφάνεια του νερού στο κέντρο βάρους της βρεχόμενης περιμέτρου των μεσόβαθρων στο κατάντη τμήμα της; γέφυρας

$\beta_2$,$\beta_{BD}$ = οι συντελεστές βάρους της ταχύτητας για την εξίσωση της ορμής

$Q_2$, $Q_{BD}$ = οι παροχές στα αντίστοιχα τμήματα

g = η επιτάχυνση της βαρύτητας

$F_f$ = η εξωτερική δύναμη λόγω της τριβής, ανά μονάδα βάρους του νερού

$W_X$ = η δύναμη λόγω του βάρους του νερού στην κατεύθυνση της ροής ανά μονάδα βάρους του νερού

Το δεύτερο βήμα είναι η διατήρηση της ορμής ανάμεσα στις διατομές BD και BU. Η εξίσωση που εφαρμόζεται στην περίπτωση αυτή κατά αντιστοιχία με αυτή του πρώτου βήματος είναι:

$$A_{BU}\,\overline{Y_{BU}} + \frac{\beta_{BU}Q_{BD}^2}{gA_{BD}} = A_{BD}\,\overline{Y_{BD}} + \frac{\beta_{BD}Q_{BD}^2}{gA_{BD}} + F_f - W_X \qquad (3.40)$$

Το τελευταίο βήμα αποτελεί η διατήρηση της ορμής ανάμεσα στη διατομή BU και στη διατομή 3. Η εξίσωση για το βήμα αυτό γράφεται ως εξής :

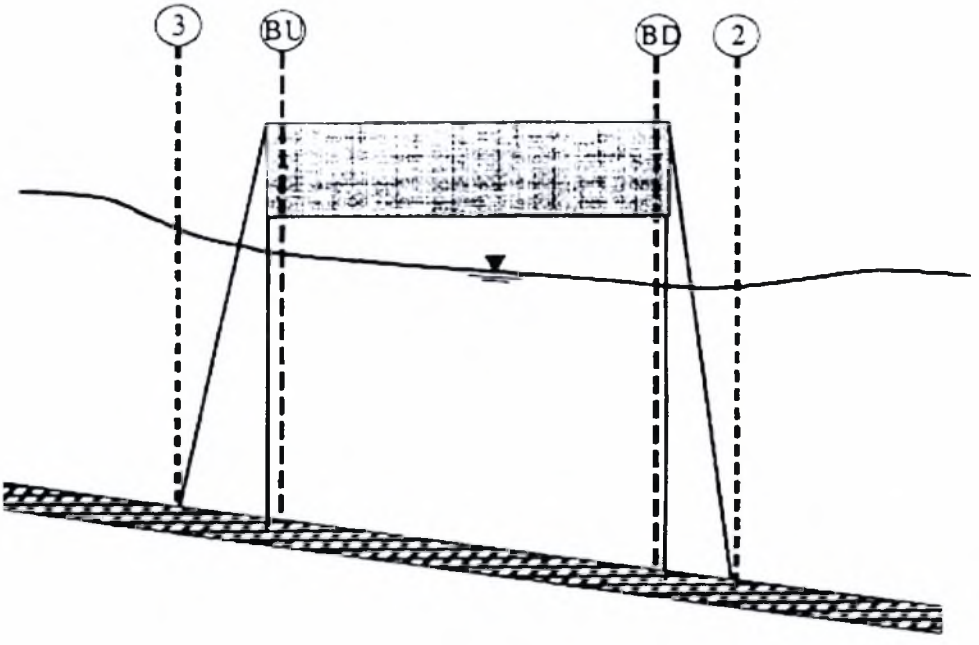
$$A_3\,\overline{Y_3} + \frac{\beta_3 Q_3^2}{gA_3} = A_{BU}\,\overline{Y_{BU}} + \frac{\beta_{BU}Q_{BU}^2}{gA_{BU}} + A_{PBU}\,\overline{Y_{PBU}} + \frac{1}{2}C_D\frac{A_{pBU}Q_3^2}{gA_3^2} + F_f - W_X \qquad (3.41)$$

όπου $C_D$ είναι ο συντελεστής αντίστασης της ροής εξαρτώμενος από το σχήμα των μεσόβαθρων, οι τιμές του οποίου δίνονται από πίνακες και ενδεικτικά παρουσιάζεται ο πίνακας, του οποίου οι τιμές βασίζονται σε πειραματικές μετρήσεις του Lindsey (1938).

Πίνακας 3.2: Τιμές του συντελεστή αντίστασης της ροής $C_D$

| **Σχήμα των μεσόβαθρων** | **Συντελεστής αντίστασης της ροής $C_D$** |
|---|---|
| Κυκλικά βάθρα | 1.20 |
| Επιμήκη βάθρα με ημικυκλικά άκρα | 1.33 |
| Ελλειπτικά βάθρα με αναλογίες 2:1 μήκος προς το πλάτος | 0.60 |
| Ελλειπτικά βάθρα με αναλογίες 4:1 μήκος προς το πλάτος | 0.32 |
| Ελλειπτικά βάθρα με αναλογίες 8:1 μήκος προς το πλάτος | 0.29 |
| Τετραγωνικά βάθρα | 2.00 |
| Τριγωνικά βάθρα γωνίας 30$^{o}$ | 1.00 |
| Τριγωνικά βάθρα γωνίας 60$^{o}$ | 1.39 |
| Τριγωνικά βάθρα γωνίας 90$^{o}$ | 1.60 |
| Τριγωνικά βάθρα γωνίας 120$^{o}$ | 1.72 |

Η τιμή του $C_D$ για επιμήκη βάθρα με ημικυκλικά άκρα των γεφυρών στη συμβολή της οδού Αναλήψεως και στη συμβολή της οδού Γιάννη Δήμου είναι 1.33, ενώ η τιμή του $C_D$ για κυκλικά βάθρα στην γέφυρα στη συμβολή της Περιφερειακής οδού είναι 1.20.




**Σχήμα 3.9 :** Διατομές ελέγχου κοντά και μέσα στη γέφυρα

**Η εξίσωση του Yarnell** είναι μια εμπειρική εξίσωση η οποία χρησιμοποιείται για να υπολογίσει τη διαφορά στη στάθμη από τη διατομή 2 στη διατομή 3.

**Η μέθοδος WSPRO** υπολογίζει το προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας από την επίλυση της εξίσωσης ενέργειας. Πρόκειται για μία επαναληπτική μέθοδο από την διατομή 1 στη διατομή 4, όπου η επίλυση γίνεται σε πέντε στάδια ανάμεσα στις συνεχόμενες εξεταζόμενες διατομές (1,2, BD, BU, 3, 4).

### 3.2.12.2 Υπολογισμοί για υψηλές ροές

Το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα να υπολογίζει περιπτώσεις υψηλών ροών (ροές οι οποίες έρχονταν σε επαφή με την κατώτερη στάθμη του καταστρώματος της γέφυρας) κάνοντας χρήση είτε της εξίσωσης της ενέργειας ή χρησιμοποιώντας ξεχωριστές εξισώσεις της υδραυλικής για ροή υπό πίεση ή για ροή με υπερχείλιση. Οι δύο παραπάνω μεθοδολογίες αναλύονται στη συνέχεια.

**Εξίσωση ενέργειας** (μέθοδος σταθερού βήματος). Η μέθοδος εφαρμόζεται σε περιπτώσεις υψηλής ροής με τον ίδιο τρόπο που εφαρμόζεται σε περιπτώσεις χαμηλής ροής. Οι υπολογισμοί βασίζονται στη εφαρμογή της εξίσωσης ενέργειας σε τρία βήματα κατά τη διέλευση της ροής από τη γέφυρα. Στις διατομές μέσα στη γέφυρα αφαιρούνται τα τμήματα από τα μεσόβαθρα, τα ακρόβαθρα και το κατάστρωμα της γέφυρας και προστίθενται οι αντίστοιχες βρεχόμενες περίμετροι.

**Μέθοδος υπολογισμού για ροή υπό πίεση ή υπερχείλιση.** Αποτελεί μια δεύτερη προσέγγιση για την επίλυση καταστάσεων υψηλής ροής στην οποία χρησιμοποιούνται ξεχωριστές υδραυλικές εξισώσεις. Οι δύο παραπάνω τύποι ροής αναλύονται διεξοδικά εξετάζοντας τις παρακάτω περιπτώσεις.

**1) Υπολογισμοί για ροή υπό πίεση**

Ροή υπό πίεση συμβαίνει όταν η ροή έρχεται σε επαφή με το κατώτερο σημείο του καταστρώματος της γέφυρας. Στην περίπτωση αυτή διακρίνονται δύο υποπεριπτώσεις:

- Την περίπτωση που μόνο η ανάντη επιφάνεια του φορέα έρχεται σε επαφή με τη ροή
- Την περίπτωση που ολόκληρο το άνοιγμα της γέφυρας βρίσκεται σε κατάσταση ροής υπό πίεση.

Για την πρώτη περίπτωση (Σχ. 3.11) χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$Q=C_d A_{BU}\left[2g\left(Y_3-\frac{Z}{2}+\frac{a_3V_3^2}{2g}\right)\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (3.42)$$

όπου: $Q$ = η συνολική παροχή από το άνοιγμα της γέφυρας

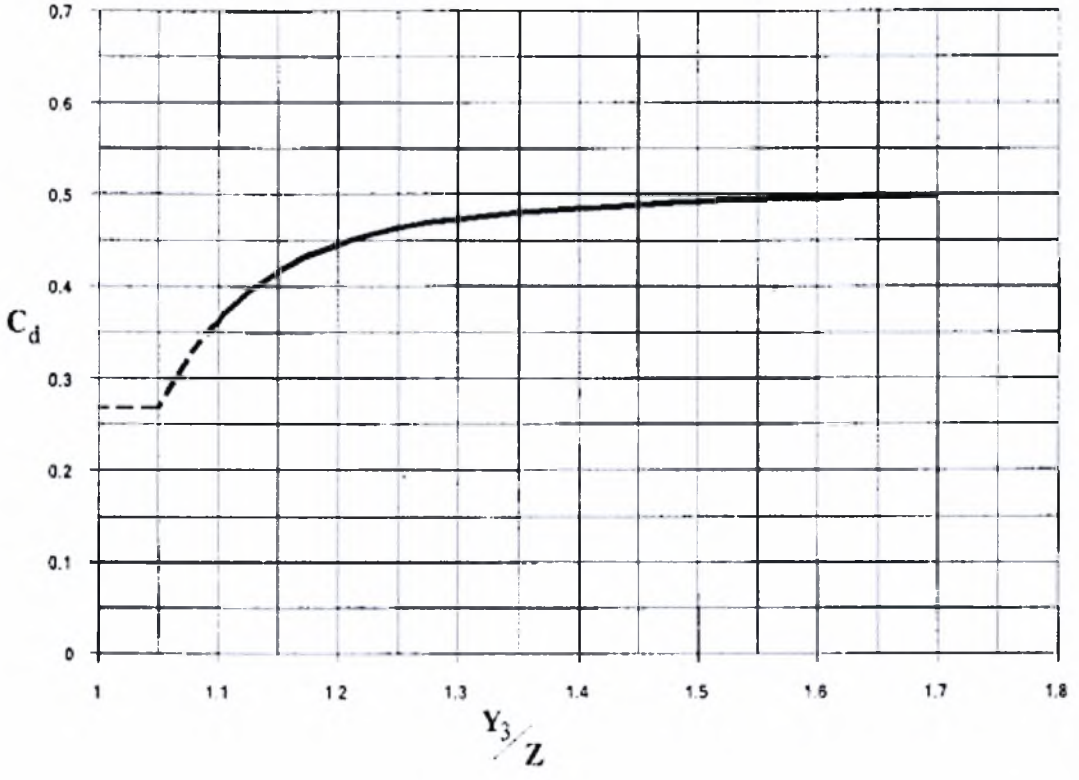
$C_D$ = συντελεστής της παροχής για ροή υπό πίεση

$A_{BU}$ = η καθαρή διατομή της γέφυρας στη διατομή BU

$Y_3$ = το βάθος στη διατομή 3

Z = η κατακόρυφη απόσταση από το πέλμα του φορέα μέχρι το μέσο υψόμετρο της κοίτης στη διατομή BU

Η τιμή του συντελεστή $C_D$ εξαρτάται από το βάθος του νερού ανάντη και συνήθως είναι 0.5. Στον ποταμό Άναυρο δεν συναντώνται τέτοιες περιπτώσεις. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο συντελεστής $C_D$ συνάρτηση του βάθους ροής (Σχ. 3.10).




**Σχήμα 3.10:** Ο συντελεστής $C_D$ συνάρτηση του βάθους ροής.

Για την δεύτερη περίπτωση (Σχ. 3.12) όπου όλη η κάτω επιφάνεια του φορέα βρίσκεται υπό πίεση γίνεται χρήση της γνωστής σχέσεως της υδραυλικής:

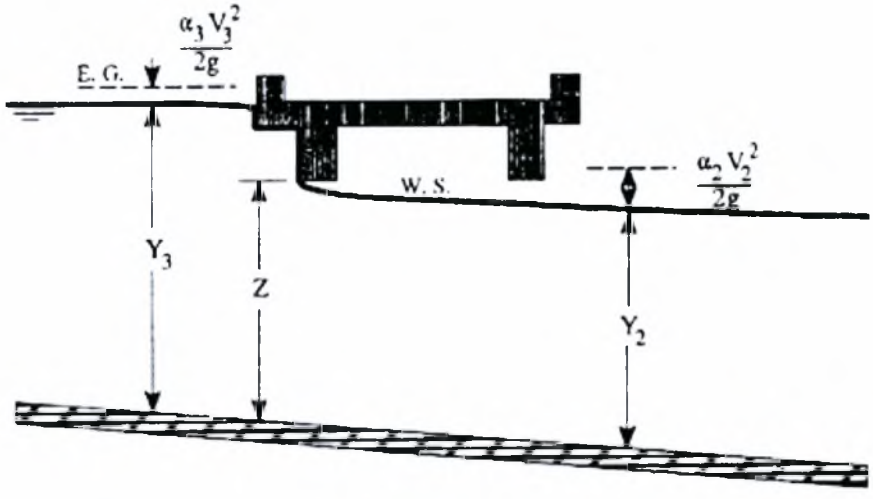
$$Q = CA\sqrt{2gH} \tag{3.43}$$

όπου: C = συντελεστής παροχής για ροή υπό πλήρη πίεση. Η τιμή που

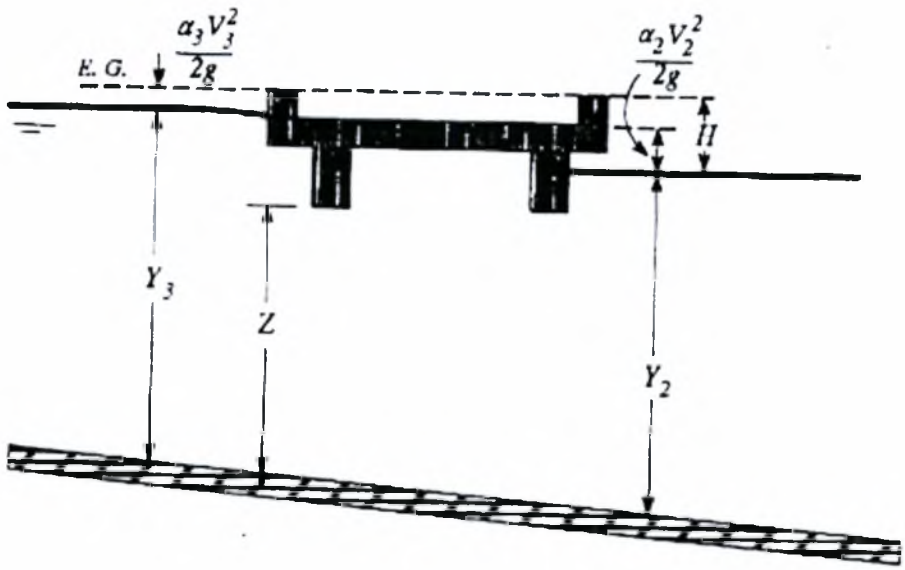
χρησιμοποιείται είναι C=0.8 που αποτελεί μια τυπική τιμή για τη εξεταζόμενη περίπτωση

H = η διαφορά της στάθμης της πιεζομετρικής γραμμής ανάντη και της στάθμης του νερού κατάντη της γέφυρας

A = η καθαρή επιφάνεια του ανοίγματος της γέφυρας




**Σχήμα 3.11 :** Συνθήκες ροής υπό μερική πίεση




**Σχήμα 3.12 :** Συνθήκες ροής υπό πλήρη πίεση

Υπολογισμοί για ροή με υπερχείλιση

Για την περίπτωση της ροής πάνω από τη γέφυρα η μέθοδος επίλυσης που χρησιμοποιείται είναι η κλασική εξίσωση του υπερχειλιστή:

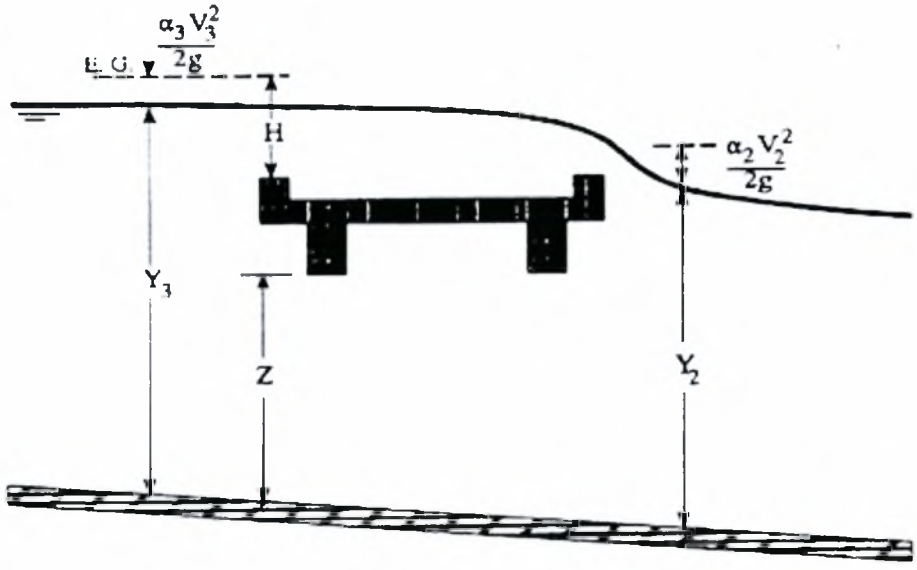
$$Q = C\,L\,H^{3/2} \tag{3.44}$$

όπου: Q = η συνολική παροχή από τη στέψη του υπερχειλιστή

C = ο συντελεστής παροχής, με τιμές κυμαινόμενες από 2.5 έως 3.1.

L = το ενεργό μήκος της στέψης του υπερχειλιστή

H = η διαφορά στάθμης της πιεζομετρικής γραμμής, ανάντη και κατάντη της γέφυρας




**Σχήμα 3.13 :** Συνθήκες ροής με υπερχείλιση

Υπό συνθήκες ελεύθερης ροής ο συντελεστής παροχής C κυμαίνεται από 2.5 έως 3.1 για ευρύστερνους υπερχειλιστές.

Για ορθογωνικούς υπερχειλιστές με άνοιγμα 15 ft και ύψος 1 ft ο συντελεστής παροχής C είναι ίσος με 2.63. Για τραπεζοειδείς υπερχειλιστές η τιμή του συντελεστής παροχής C κυμαίνεται από 2.7 έως 3.08 ( King 1963 ).

Για τραπεζοειδείς υπερχειλιστές ο συντελεστής παροχής C κυμαίνεται από 2.9 έως 3.03 για πολύ μικρό ύψος H ( FHWA, 1978).

### 3.2.13 Περιορισμοί στην εφαρμογή του προγράμματος

Για την εφαρμογή του προγράμματος, τα βασικά στοιχεία του οποίου περιγράφηκαν αναλυτικά στις προηγούμενες παραγράφους, απαιτείται η ικανοποίηση των παρακάτω προϋποθέσεων:

1. Η ροή είναι μόνιμη

2. Η ροή είναι μερικώς μεταβαλλόμενη καθώς η εξίσωση 3.1 βασίζεται στην παραδοχή της υδροστατικής κατανομής της πίεσης σε κάθε διατομή. Εξαίρεση αποτελούν οι υδραυλικές κατασκευές όπως γέφυρες, οχετοί κ.α. Στις θέσεις αυτές όπου η ροή είναι ταχέως μεταβαλλόμενη θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση ποσότητας κίνησης ή και άλλες εμπειρικές εξισώσεις.
3. Η ροή είναι μονοδιάστατη και επομένως συνιστώσες της ταχύτητας με διεύθυνση διαφορετική από αυτή της ροή δε λαμβάνονται υπόψη.
4. Οι κατά μήκος κλίσεις της κοίτης είναι μικρότερες από 1:10

Η ροή θεωρείται μόνιμη διότι οι χρονικά εξαρτώμενοι παράγοντες δεν περιλαμβάνονται στην εξίσωση ενέργειας 3.1. Αντίστοιχα η ροή θεωρείται μερικώς μεταβαλλόμενη διότι η εξίσωση 3.1 στηρίζεται στην παραδοχή ότι υπάρχει υδροστατική κατανομή της πίεσης σε κάθε διατομή. Σε θέσεις όπου η ροή μεταβάλλεται ταχέως το πρόγραμμα αυτόματα χρησιμοποιεί την εξίσωση ποσότητας κίνησης ή άλλες εμπειρικές εξισώσεις. Επίσης η ροή θεωρείται μονοδιάστατη διότι η εξίσωση 3.19 βασίζεται στην υπόθεση ότι το συνολικό φορτίο της ενέργειας είναι το ίδιο για όλα τα σημεία σε μία διατομή. Η παραδοχή των μικρών κλίσεις του πυθμένα γίνεται καθώς το ύψος πίεσης που είναι συνάρτηση του Y στην εξίσωση 3.1 παρουσιάζεται με το βάθος ροής, το οποίο μετράται κατακόρυφα.

Τέλος το πρόγραμμα δεν έχει την δυνατότητα να συμπεριλάβει στους υπολογισμούς μεταφορά φερτών και απαιτεί τον προσδιορισμό των απωλειών ενέργειας με όρους της εξίσωσης 3.2.

### 3.2.14 Συνθήκες ροής - Οριακές συνθήκες – Δεδομένα παροχών

Το ύψος της ελεύθερης επιφάνειας είναι απαραίτητο να δοθεί στο πρόγραμμα ως οριακή συνθήκη για να ξεκινήσουν οι υπολογισμοί. Στην υποκρίσιμη ροή ορίζεται οριακή συνθήκη κατάντη του υδατορεύματος, ενώ στην υπερκρίσιμη ροή ανάντη του υδατορεύματος. Στη μικτή ροή οι οριακές συνθήκες εισάγονται ανάντη και κατάντη του υδατορεύματος.

Υπάρχουν τέσσερις τύποι οριακών συνθηκών που μπορούν να εισαχθούν στο πρόγραμμα:

1. **Το ύψος της ελεύθερης επιφάνειας :** σε αυτό τον τύπο οριακής συνθήκης θα πρέπει να εισαχθεί η γνώστη τιμή του ύψους ελεύθερης επιφάνειας για κάθε προφίλ.
2. **Το κρίσιμο βάθος :** σε αυτό τον τύπο οριακής συνθήκης δεν χρειάζεται καμία επιπλέον πληροφορία. Το πρόγραμμα υπολογίζει το κρίσιμο βάθος για κάθε προφίλ και το χρησιμοποιεί σαν οριακή συνθήκη.
3. **Κανονικό βάθος ροής :** σε αυτό τον τύπο οριακής συνθήκης πρέπει να εισαχθεί η τιμή της κλίσης της γραμμής ενέργειας για τον υπολογισμό του κανονικού βάθους ροής (τύπος του Manning) στη συγκεκριμένη θέση. Γενικά η κλίση της γραμμής ενέργειας μπορεί να προσεγγιστεί με τη μέση κλίση του πυθμένα του καναλιού.
4. **Καμπύλη συσχέτισης παροχής και βάθους ροής :** σε αυτό τον τύπο οριακής συνθήκης εισάγεται το ύψος έναντι της παροχής για κάθε προφίλ

Εάν το ύψος της ελεύθερης επιφάνειας είναι άγνωστο, τότε ή υποθέτεται ή, διαφορετικά, εισάγεται είτε το κρίσιμο βάθος ή η κλίση της γραμμής ενέργειας. Εισάγοντας ένα υποθετικό ύψος ελεύθερης επιφάνειας εμπεριέχεται ένα ποσοστό λάθους, και, έτσι, για πιο ακριβείς υπολογισμούς, είναι απαραίτητο να προστεθούν επιπλέον διατομές. Στην περίπτωση της υποκρίσιμης ροής οι επιπλέον διατομές προστίθενται κατάντη του υδατορεύματος, στην περίπτωση της υπερκρίσιμης ροής οι επιπλέον διατομές προστίθενται ανάντη του υδατορεύματος και στη μικτή ροή ανάντη και κατάντη του υδατορεύματος.

### 3.2.15 Δεδομένα παροχών

Τα δεδομένα παροχών είναι σημαντικό να εισαχθούν στο πρόγραμμα για κάθε διατομή, έτσι ώστε να υπολογιστεί το προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας και δίνονται κατάντη και ανάντη του υδατορεύματος. Η τιμή της παροχής που δίνεται ανάντη του υδατορεύματος παραμένει σταθερή εκτός και αν προστεθεί σε κάποια άλλη διατομή ακόμη μία παροχή. Το ποσοστό της ροής αλλάζει από διατομή σε διατομή, αλλά

παραμένει σταθερό στο μέσο μίας γέφυρας, ενός οχετού ή μιας διασταύρωσης υδατορευμάτων. Τα δεδομένα παροχών εισάγονται για όλες τις περιόδους επαναφοράς.

## 3.3 Μη μόνιμη ροή

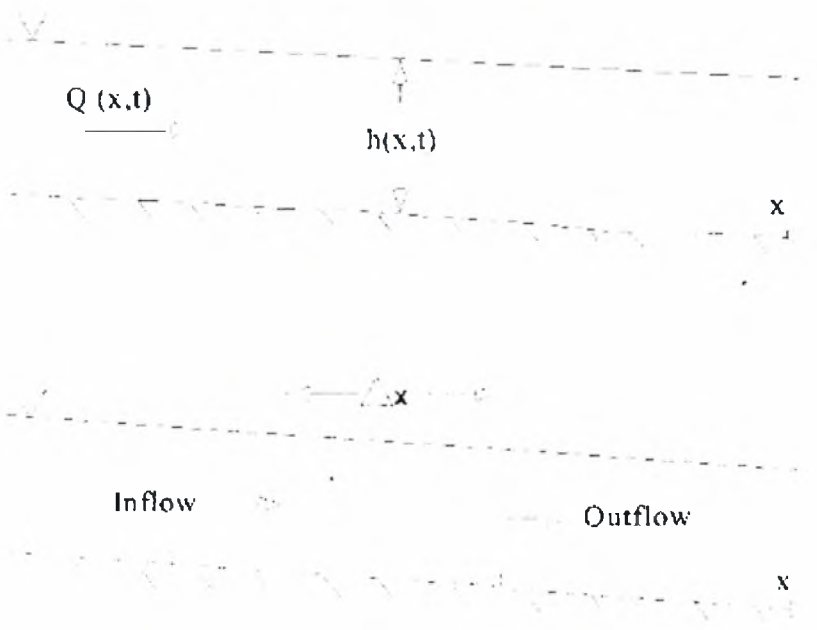
Οι φυσικοί νόμοι που διέπουν τη ροή σε ένα υδατόρευμα είναι:

1. Η αρχή της διατήρησης της μάζας,
2. Η αρχή της διατήρησης της ορμής.

Αυτοί οι νόμοι εκφράζονται μαθηματικά με τη μορφή μερικών διαφορικών εξισώσεων, οι οποίες θα αναφερθούν στη συνέχεια ως εξισώσεις συνέχειας και ορμής.

### 3.3.1 Εξίσωση συνέχειας

Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχ. 3.14), όπως φαίνεται, μετριέται η απόσταση x κατά μήκος του καναλιού. Η παροχή και η υδάτινη επιφάνεια συμβολίζονται ως Q (x, t) και $A_T$ αντίστοιχα. Η συνολική υδάτινη επιφάνεια $A_T$ είναι το άθροισμα της ενεργούς περιοχής A και της πλημμυρικής περιοχής S.




**Σχήμα 3.14 :** Στοιχειώδης όγκος αναφοράς για παραγώγιση των εξισώσεων συνέχειας και ορμής

Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της μάζας η ανά μονάδα χρόνου μεταβολή της μάζας μέσα στον όγκο αναφοράς ισούται με την ολική καθαρή εισροή μάζας από την επιφάνεια $A_T$ που περιβάλει τον όγκο αυτόν. Το ποσοστό εισροής στον όγκο αναφοράς μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$Q - \frac{\partial Q}{\partial x}\frac{\Delta x}{2} \tag{3.45}$$

το ποσοστό της εκροής είναι:

$$Q + \frac{\partial Q}{\partial x}\frac{\Delta x}{2} \tag{3.46}$$

το ποσοστό της μεταβολής του όγκου είναι:

$$\frac{\partial A_T}{\partial t}\Delta x \tag{3.47}$$

Υποθέτοντας ότι το Δx είναι μικρό η μεταβολή της μάζας στον όγκο αναφοράς ισούται:

$$p\frac{\partial A_T}{\partial t}\Delta x = p\left[\left(Q - \frac{\partial Q}{\partial x}\frac{\Delta x}{2}\right) - \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial x}\frac{\Delta x}{2}\right) + Q_l\right] \tag{3.48}$$

οπού: $Q_l$ = η πλευρική εισροή που εισέρχεται στον όγκο αναφοράς

$p$ = η πυκνότητα του ρευστού

απλοποιώντας και διαιρώντας με ρ Δx η τελική εξίσωση έχει ως εξής:

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \tag{3.49}$$

όπου: $q_l$ = η πλευρική εισροή ανά μονάδα μήκους

### 3.3.2 Εξίσωση ορμής

Η διατήρηση της ορμής εκφράζεται από το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα ως εξής:

$$\sum F_x = \frac{\overline{dM}}{dt} \tag{3.50}$$

Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ορμής το σύνολο των εξωτερικών δυνάμεων που ασκούνται στο ρευστό που καταλαμβάνει κατά τη χρονική στιγμή t τον όγκο αναφοράς, ισούται με την ανά μονάδα χρόνου μεταβολή της ποσότητας της κίνησης

εντός του όγκου αναφοράς μείον την καθαρή εισροή ποσότητας κίνησης από την επιφάνεια που περικλείει τον όγκο αυτόν. Αυτό είναι μια διανυσματική εξίσωση που εφαρμόζεται στη διεύθυνση x. Τρεις δυνάμεις θα εξεταστούν:

(1) η δύναμη πίεσης

(2) η δύναμη βαρύτητας και

(3) η δύναμη τριβής.

Δύναμη πίεσης

Το σχήμα 3.15 φαίνεται η γενική περίπτωση μιας διατομής ελέγχου. Η κατανομή της πίεσης είναι υδροστατική, δηλαδή η πίεση μεταβάλλεται γραμμικά με το βάθος. Η συνολική δύναμη της πίεσης σε κάθε σημείο δίνεται από τη σχέση:

$$F_P = \int_0^h \rho g(h-y)T(y)dy \qquad (3.51)$$

όπου: h = το κατακόρυφο βάθος ροής

y = ένα τυχαίο κατακόρυφο ύψος από τον πυθμένα προς την επιφάνεια

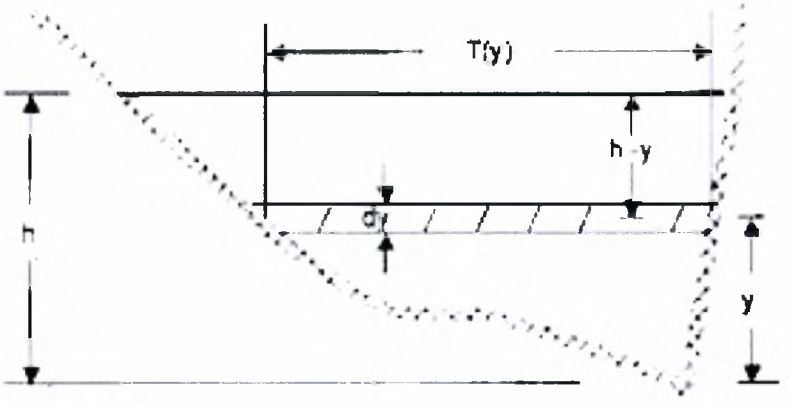
T(y) = το πλάτος της διατομής συναρτήσει της απόστασης πάνω από το υδατόρευμα

Εάν $F_P$ είναι η δύναμη της πίεσης στη διεύθυνση του x στο μέσο του όγκου αναφοράς, τότε η δύναμη της πίεσης πάνω από τον όγκο αναφοράς είναι:

$$F_P - \frac{\partial F_P}{\partial x}\frac{\Delta x}{2} \qquad (3.52)$$

και κάτω από τον όγκο αναφοράς είναι:

$$F_P + \frac{\partial F_P}{\partial x}\frac{\Delta x}{2} \tag{3.53}$$




**Σχήμα 3.15 :** Απεικόνιση μιας τυχαίας διατομής ελέγχου

Το άθροισμα των δυνάμεων της πίεσης στον όγκο αναφοράς έχει ως εξής:

$$F_{Pn} = \left| F_P - \frac{\partial F_P}{\partial x}\frac{\Delta x}{2} \right| - \left| F_P + \frac{\partial F_P}{\partial x}\frac{\Delta x}{2} \right| + F_B \tag{3.54}$$

όπου: $F_{Pn}$ = η καθαρή δύναμη της πίεσης στον όγκο αναφοράς

$F_B$ = η δύναμη που ασκείται από τις όχθες στο ρευστό κατά τη διεύθυνση x

Η παραπάνω σχέση απλοποιείται ως εξής:

$$F_{Pn} = -\frac{\partial F_P}{\partial x}\frac{\Delta x}{2} + F_B \tag{3.55}$$

Διαφορίζοντας την εξίσωση 3.33 χρησιμοποιώντας τον κανόνα του Leibnitz και αντικαθιστώντας την, έπειτα, στην εξίσωση 3.37 προκύπτει ο παρακάτω τύπος:

$$F_{Pn} = -\rho g\, \Delta x \left[ \frac{\partial h}{\partial x} \int_0^h T(y)dy + \int_0^h (h-y) \frac{\partial T(y)}{\partial x} dy \right] + F_B \qquad (3.56)$$

Το πρώτο ολοκλήρωμα στην εξίσωση 3.56 είναι το εμβαδόν της διατομής Α. Το δεύτερο ολοκλήρωμα, το οποίο πολλαπλασιάζεται με – pgΔx, είναι η δύναμη της πίεσης που ασκείται από το ρευστό στις όχθες, το οποίο είναι ακριβώς το ίδιο σε μέγεθος, αλλά αντίθετο σε κατεύθυνση από το $F_B$. Ως εκ τούτου η καθαρή δύναμη πίεσης είναι:

$$F_{Pn} = -\rho g A \frac{\partial h}{\partial x} \Delta x \qquad (3.57)$$

<u>Δύναμη βαρύτητας</u>

Η δύναμη λόγω της βαρύτητας του ρευστό στον όγκο αναφοράς κατά τη διεύθυνση x είναι:

$$F_g = \rho g A \sin\theta \Delta x \qquad (3.58)$$

όπου: θ = η γωνία που σχηματίζει ο πυθμένας με το οριζόντιο επίπεδο

Για φυσικά υδατορεύματα η θ είναι μικρή και $\sin\theta \approx \tan\theta = -\frac{\partial Z_0}{\partial x}$

όπου: $Z_0$ = η ανύψωση του πυθμένα

Έτσι, η δύναμη της βαρύτητας γράφεται ως εξής:

$$F_g = -\rho g A \frac{\partial Z_0}{\partial x} \Delta x \qquad (3.59)$$

Η δύναμη της βαρύτητας είναι θετική για αρνητικές κλίσεις.

<u>Δύναμη τριβής</u>

Η δύναμη τριβής μεταξύ του καναλιού και του ρευστού δίνεται από την εξίσωση:

$$F_f = -\tau_o P \Delta x \qquad (3.60)$$

όπου: $\tau_o$ = η διατμητική τάση στο όριο
P = η βρεχόμενη περίμετρος.

Το αρνητικό πρόσημο δείχνει ότι η δύναμη της τριβής είναι αντίθετη στη διεύθυνση x.

Από τη διαστατική ανάλυση, το $\tau_o$ μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει του συντελεστή $C_D$ ως εξής:

$$\tau_o = pC_D V^2 \tag{3.61}$$

Ο συντελεστής $C_D$ σχετίζεται με το συντελεστή Chezy, C, με την ακόλουθη σχέση:

$$C_D = \frac{g}{C^2} \tag{3.62}$$

Συνεπώς, προκύπτει η σχέση του Chezy :

$$V = C\sqrt{RS_f} \tag{3.63}$$

Αντικαθιστώντας τις εξισώσεις 3.61, 3.62, και 3.63 σε 3.60 προκύπτει η παρακάτω σχέση για την δύναμη τριβής $F_f$ :

$$F_f = -pgAS_f\Delta x \tag{3.64}$$

όπου: $S_f$ = η τριβή λόγω κλίση, η οποία είναι θετική για τη ροή στην θετική κατεύθυνση x.

Η εξίσωση που περιγράφει την $S_f$ είναι η εξής:

$$S_f = \frac{Q|Q|n^2}{2.208R^{4/3}A^2} \tag{3.65}$$

όπου: R = η υδραυλική ακτίνα

n = ο συντελεστής τριβής του Manning

Εξίσωση της ορμής

Η ροή που εισέρχεται στον όγκο αναφοράς γράφεται ως εξής:

$$p[QV - \frac{\partial QV}{\partial x}\frac{\Delta x}{2}] \tag{3.66}$$

Η ροή που εξέρχεται στον όγκο αναφοράς γράφεται ως εξής:

$$p[QV + \frac{\partial QV}{\partial x}\frac{\Delta x}{2}] \tag{3.67}$$

Επομένως το καθαρό ποσοστό της ορμής που εισέρχεται στο όγκο αναφοράς είναι:

$$- p\frac{\partial QV}{\partial x}\Delta x \tag{3.68}$$

Με δεδομένο ότι η ορμή του ρευστού στον όγκο ελέγχου είναι pQΔx, προκύπτει η παρακάτω σχέση:

$$\frac{\partial}{\partial t}(pQ\Delta x) = p\Delta x\frac{\partial Q}{\partial t} \tag{3.69}$$

Αναδιατυπώνοντας την αρχή διατήρησης της ορμής προκύπτει ότι το καθαρό ποσοστό της ορμής της ροής που εισέρχεται σε έναν όγκο αναφοράς (Εξ. 3.68) συν το άθροισμα όλων των εξωτερικών δυνάμεων που ασκούνται στον όγκο αναφοράς (Εξ. 3.57, 3.59, 3.64) είναι ίσο με την συσσώρευση της ορμής (3. 69).

$$p\Delta x\frac{\partial Q}{\partial t} = -p\frac{\partial QV}{\partial x}\Delta x - \rho gA\frac{\partial h}{\partial x}\Delta x - \rho gA\frac{\partial Z_0}{\partial x}\Delta x - pgAS_f\Delta x \qquad (3.70)$$

Το ύψος της επιφάνειας του νερού, z, είναι ίσο με $z_0 + h$. Επομένως:

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z_0}{\partial x} \qquad (3.71)$$

όπου: $\frac{\partial z}{\partial x}$ = η κλίση της ελεύθερης επιφάνειας του υγρού

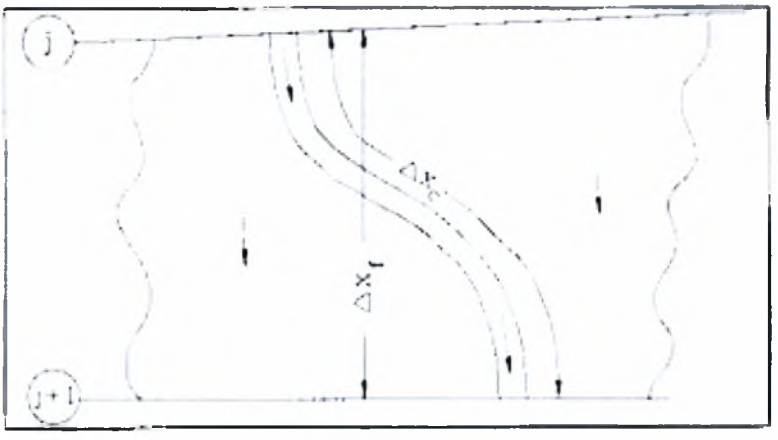
Αντικαθιστώντας την (3.69) στην (3.70), διαιρώντας με $p\Delta x$ και μετακινώντας τους όρους στο αριστερό μέλος, η τελική μορφή της εξίσωσης ορμής είναι:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f\right) = 0 \qquad (3.72)$$

### 3.3.3 Εφαρμογή των εξισώσεων της μη μόνιμης ροής στο HEC-RAS

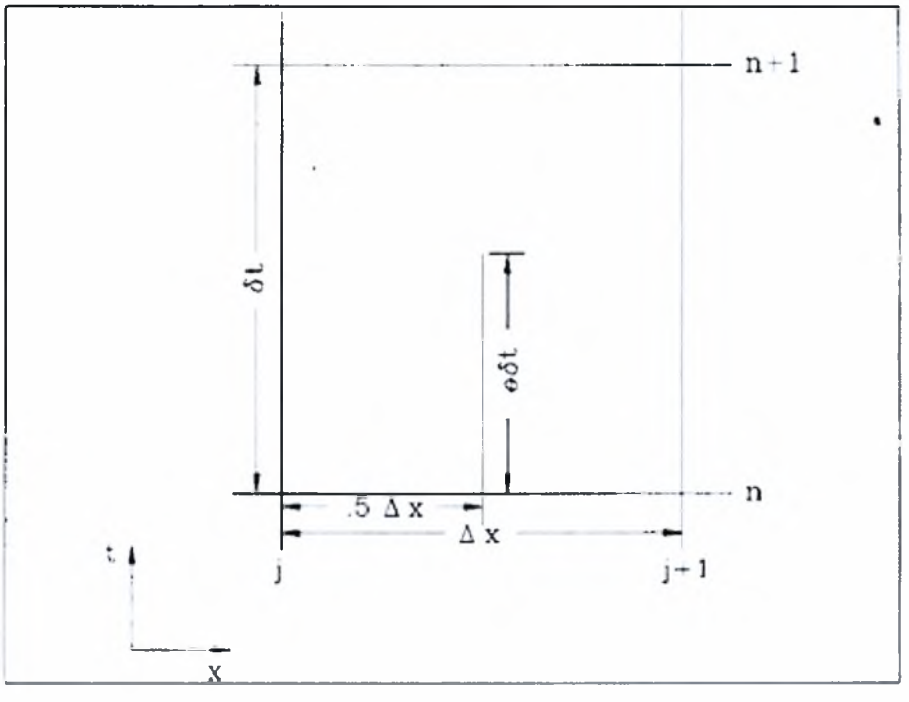
Το σχήμα 3.16 επεξηγεί δισδιάστατα την αλληλεπίδραση μεταξύ της κύριας κοίτης και των πλημμυρικών κοιτών. Όταν αυξάνεται η παροχή, το νερό κινείται προς της πλημμυρικές κοίτες και γεμίζει τις διαθέσιμες περιοχές αποθήκευσης. Αντίθετα, όταν η παροχή μειώνεται, τότε το νερό κινείται και πάλι προς την κύρια κοίτη.

Επειδή η διεύθυνση της ροής είναι προσανατολισμένη κατά μήκος της κύριας κοίτης η ροή μπορεί να προσεγγιστεί και μονοδιάστατα.




**Σχήμα 3.16:** Απεικόνιση της κύριας κοίτης και των πλημμυρικών κοιτών

### 3.3.4 Εξισώσεις σύμφωνα με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών




**Σχήμα 3.17:** Απεικόνιση ενός κελιού από τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών

Η αρχική εξίσωση έχει ως εξής:

$$f_f = f_f^n \tag{3.73}$$

και

$$\Delta f_f = f_f^{n+1} - f_f^n \tag{3.74}$$

Τότε:

$$f_f^{n+1} = f_f + \Delta f_f \tag{3.75}$$

Οι γενικοί τύποι της μεθόδου των πεπερασμένων διαφορών είναι:

1. Χρονικής παραγώγησης

$$\frac{\partial f}{\partial t} \approx \frac{\Delta f}{\Delta t} = \frac{0.5(\Delta f_{f+1} + \Delta f_f)}{\Delta t} \tag{3.76}$$

2. Χωρικής παραγώγησης

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{\Delta f}{\Delta x} = \frac{(f_{f+1} - f_f) + \theta(\Delta f_{f+1} - \Delta f_f)}{\Delta x} \tag{3.77}$$

3. Απλής συνάρτησης

$$f \approx \bar{f} = 0.5\,(f_f + f_{f+1}) + 0.5\theta\,(\Delta f_f + \Delta f_{f+1}) \tag{3.78}$$

Εξίσωση συνέχειας

Σύμφωνα με τα προηγούμενα και προσθέτοντας τον όρο S, η εξίσωση της συνέχειας μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial S}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}-q_l=0 \tag{3.79}$$

όπου: x = η απόσταση κατά μήκος του υδατορεύματος

t = ο χρόνος

Q = η παροχή

A = το εμβαδόν της διατομής

S = οι περιοχές αποθήκευσης του νερού

q = η πλευρική εισροή ανά μονάδα μήκους

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφτεί για την κεντρική κοίτη και τις πλημμυρικές κοίτες ως εξής:

$$\frac{\partial Q_c}{\partial x_c}+\frac{\partial A_c}{\partial t}=q_f \tag{3.80}$$

και

$$\frac{\partial Q_f}{\partial x_f}+\frac{\partial A_f}{\partial t}+\frac{\partial S}{\partial t}=q_c+q_l \tag{3.81}$$

Με κατάλληλες τροποποιήσεις, η εξίσωση καταλήγει ως εξής:

$$\Delta Q+\frac{\Delta A_c}{\Delta t}\Delta x_c+\frac{\Delta A_f}{\Delta t}\Delta x_f+\frac{\Delta S}{\Delta t}\Delta x_f-\overline{Q_l}=0 \tag{3.82}$$

Εξίσωση της ορμής

Η εξίσωση της ορμής μπορεί να γραφεί, λαμβάνοντας υπόψη τα προηγούμενα, ως εξής:

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial (VQ)}{\partial x}+gA\left(\frac{\partial z}{\partial x}+S_f\right)=0 \tag{3.83}$$

όπου: $g$ = η επιτάχυνση της βαρύτητας

$S_f$ = η κλίση του τδατορεύματος

$V$ = η ταχύτητα

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφτεί για την κεντρική κοίτη και τις πλημμυρικές κοίτες ως εξής:

$$\frac{\partial Q_c}{\partial x_c}+\frac{\partial V_c Q_c}{\partial x_c}+gA_c\left(\frac{\partial z}{\partial x_c}+S_{fc}\right)=M_f \tag{3.84}$$

$$\frac{\partial Q_f}{\partial t}+\frac{\partial (V_f Q_f)}{\partial x_c}+gA\left(\frac{\partial z}{\partial x_c}+S_{ff}\right)=M_c \tag{3.85}$$

Με κατάλληλες τροποποιήσεις, η εξίσωση καταλήγει ως εξής:

$$\frac{\Delta(Q_c\Delta x_c+Q_f\Delta x_f)}{\Delta t\Delta x_c}+\frac{\Delta(\beta VQ)}{\Delta x_c}+g\overline{A}\left(\frac{\Delta z}{\Delta x_c}+\overline{S_f}\right)=0 \tag{3.86}$$

### 3.3.5 Οριακές συνθήκες -Αρχικές συνθήκες

Σε όλα τα ελεύθερα ανοίγματα του ποτάμιου συστήματος μπορούν να προσομοιαστούν οριακές συνθήκες(εξωτερικές οριακές συνθήκες). Στο πρόγραμμα

εισάγονται οι εξής οριακές συνθήκες ανάντη του υδατορεύματος στην περίπτωση της μη μόνιμης ροής:

1. Υδρογράφημα παροχής
2. Υδρογράφημα βάθους ροής
3. Υδρογράφημα παροχής και υδρογράφημα βάθους ροής

Οι κατάντη οριακές συνθήκες στη μη μόνιμη ροή που μπορούν να εισαχθούν είναι:

1. Καμπύλη συσχέτισης στάθμης ροής και παροχής
2. Κανονικό βάθος ροής(από τον τύπο του Manning)
3. Υδρογράφημα παροχής
4. Υδρογράφημα βάθους ροής
5. Υδρογράφημα παροχής και υδρογράφημα βάθους ροής

Επίσης υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής οριακών συνθηκών σε εσωτερικές θέσεις του ποταμού όπως εισαγωγή πλευρικού υδρογραφήματος εισόδου, υπόγειας εισροής.

Οι αρχικές συνθήκες ροής μπορούν να εισαχθούν στο πρόγραμμα με δύο τρόπους. Ο πρώτος και πιο συνηθισμένος τρόπος είναι να εισαχθούν τα δεδομένα της ροής για κάθε κυρίως υδατόρευμα και στη συνέχεια το πρόγραμμα με συνθήκες μόνιμης ροής υπολογίζει το ύψος της ελεύθερης επιφάνειας. Η δεύτερη μέθοδος εφαρμόζεται θέτοντας ως αρχικές συνθήκες τα αποτελέσματα, παροχή και βάθος ροής, από ένα προηγούμενο τρέξιμο του προγράμματος.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

# *ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ*

## 4.1 Εισαγωγικά

Η αριθμητική προσομοίωση του υδατορεύματος Αναύρου έγινε με τη βοήθεια του υδραυλικού προγράμματος HEC-RAS, η βασική μεθοδολογία του οποίου αναπτύχθηκε στο 3ο κεφάλαιο.

Το συνολικό μελετούμενο τμήμα του ποταμού Αναύρου είναι 3600 μέτρα, ξεκινάει από την περιοχή ''Άλλη Μεριά'', σε υψόμετρο 161 μέτρων περίπου, και καταλήγει στον Παγασητικό κόλπο, στην περιοχή του Αναύρου. Η οριζοντιογραφία καθώς και οι διατομές σε διάφορες θέσεις κατά μήκος του ποταμού παραχωρήθηκαν από τη Δ/νση Τεχνικών Υπηρεσιών, Τμήμα Υδραυλικών Εργων της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Μαγνησίας. Για την ακριβή μελέτη της γεωμετρίας του παραπάνω τμήματος ελήφθησαν 65 διατομές κάθετα στη ροή του υδατορεύματος. Στο υπό μελέτη τμήμα του ποταμού εμπεριέχονται τρεις γέφυρες, εγκάρσια στη ροή του ποταμού, των οποίων τα μεσόβάθρα βρίσκονται στην κοίτη του υδατορεύματος. Οι γέφυρες βρίσκονται στη συμβολή των οδών Αναλήψεως, Γιάννη Δήμου, όπως επίσης και του Περιφερειακού δρόμου με τον ποταμό Άναυρο.

Οι διατομές που χρησιμοποιήσαμε για την εφαρμογή του προγράμματος είναι τμήμα της Οριστικής Μελέτης: ''Αντιπλημμυρικά έργα χειμάρρων Ξηριά- Κραυσίδωνα-Αναύρου Βόλου'', ανάδοχοι της οποίας είναι το ''Γραφείο Κωνσταντινίδη Ε.Π.Ε'' σε σύμπραξη με το μελετητικό γραφείο του Δημητρίου Μπάρκα, Τοπογράφου Μηχανικού υπό την επίβλεψη του Τμήματος Υδραυλικών Έργων, της Δ/νσης Τεχνικών Υπηρεσιών της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Μαγνησίας, .

## 4.2 Απαιτούμενα Δεδομένα Αριθμητικής Προσομοίωσης

### 4.2.1 Γεωμετρικά δεδομένα

Στο υδραυλικό πρόγραμμα HEC-RAS δόθηκε η γεωμετρία των διατομών. Για την υδραυλική προσομοίωση μελετήθηκαν 65 διατομές ελέγχου. Η μεγαλύτερη αριθμητικά διατομή του υπό μελέτη τμήματος του ποταμού Αναύρου τοποθετήθηκε ανάντη (Διατομή 65), ενώ η χαμηλότερη αριθμητικά διατομή κατάντη (Διατομή 1). Οι διατομές απέχουν περίπου 50 μέτρα μεταξύ τους.

Επίσης, στο υδραυλικό πρόγραμμα HEC-RAS εισάγονται τα γεωμετρικά δεδομένα για τις τρεις γέφυρες που διασχίζουν το υδατόρευμα. Ανάντη και κατάντη των γεφυρών, σε απόσταση 3 μέτρων από το κατάστρωμα τους, ορίζονται δύο επιπλέον διατομές. Το πρώτο γεωμετρικό δεδομένο που εισάγεται είναι η απόσταση που έχει το πάνω όριο του καταστρώματος της γέφυρας από τη διατομή ανάντη της γέφυρας και το δεύτερο δεδομένο είναι το πλάτος του καταστρώματος της γέφυρας. Τέλος, εισάγεται ο αριθμός και το ύψος των βάθρων της γέφυρας.

Θεωρήθηκε απαραίτητο να εισαχθούν στο πρόγραμμα οι συντελεστές συστολής και διαστολής καθώς και οι συντελεστές τραχύτητας σε κάθε διατομή.

Οι συντελεστές συστολής και διαστολής χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα για να υπολογιστούν οι τοπικές απώλειες λόγω μεταβολής σχήματος, οι οποίες εκφράζονται σαν κάποιο ποσοστό της διαφοράς ύψους κινητικής ενέργειας μεταξύ δύο γειτονικών διατομών. Οι συντελεστές συστολής για τους βαθμιαία συγκλίνοντες ανοικτούς αγωγούς είναι 0.10, ενώ οι συντελεστές διαστολής για τους βαθμιαία αποκλίνοντες ανοικτούς αγωγούς είναι 0.30 και λαμβάνονται οι ίδιοι σε όλες τις διατομές του υδατορεύματος, με εξαίρεση τις διατομές που είναι πλησίον των γεφυρών, στις οποίες οι συντελεστές συστολής και διαστολής είναι 0.30 και 0.50, αντίστοιχα.

Από επί τόπου επίσκεψη στο υπό μελέτη τμήμα του ποταμού Αναύρου διαπιστώθηκε πως οι συντελεστές τραχύτητας Manning διαφέρουν από διατομή σε διατομή. Οι τιμές τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 4.1, ανάλογα με το υλικό

επένδυσης της κοίτης και των πρανών, λαμβάνοντας υπόψη ότι για φυσικά υδατορεύματα χωρίς ανάπτυξη φυτών ισχύει n=0.02, με μικρά φυτά n=0.035 και για ορεινά τμήματα με αραιή βλάστηση στις όχθες n=0.04. [3].

Πίνακας 4.1: Τιμές του συντελεστή τραχύτητας του πυθμένα και της όχθης του υδατορεύματος [8]

| Τύπος του πυθμένα και της όχθης | Συντελεστές Manning |
|---|---|
| συρματοκιβώτιο | 0.02 |
| τσιμεντολιθοδομή | 0.02 |
| σκυρόδεμα-χώμα | 0.022 |
| χωμάτινο | 0.025 |
| αμμοχαλικώδης | 0.03 |
| αμμοχαλικώδης (δένδρα) | 0.035 |
| λιθοδομή | 0.04 |

### 4.2.2 Υδρολογικά δεδομένα

Εκτός από τα γεωμετρικά δεδομένα, τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω, η εφαρμογή του προγράμματος καθιστά αναγκαία την εισαγωγή των απαραίτητων υδρολογικών δεδομένων. Αυτά προέρχονται από την εκτίμηση των μέγιστων πλημμυρικών παροχών του υδατορεύματος, όπως ακριβώς έχουν προσδιοριστεί στο 2ο κεφάλαιο με βάση τις δεδομένες όμβριες καμπύλες της περιοχής μελέτης, και συνοψίζονται στον πίνακα 4.2 .

Πίνακας 4.2: Πλημμυρικές παροχές σχεδιασμού για τις αντίστοιχές περιόδους επαναφοράς

| Διατομές Υδατορεύματος | Παροχή σχεδιασμού ($m^3$/sec) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | *1000 έτη* | *100 έτη* | *50 έτη* | *25 έτη* | *10 έτη* |
| ***65*** | 43.278 | 39.82 | 34.5 | 31.02 | 26.15 |
| ***34*** | 63.028 | 57.18 | 50.11 | 45.04 | 37.99 |
| ***32*** | 77.628 | 70.78 | 61.87 | 55.02 | 46.89 |
| ***17*** | 82.85 | 76.00 | 67.094 | 60.244 | 52.114 |
| ***3*** | 89.375 | 82.53 | 73.624 | 66.774 | 58.644 |

Ο πίνακας 4.2 παρουσιάζει τις μέγιστες πλημμυρικές παροχές σχεδιασμού σε 5 διατομές του υδατορεύματος. Η διατομή 65 βρίσκεται στην αρχή του μελετούμενου τμήματος του Αναύρου, οι διατομές 34 και 32 βρίσκονται στις θέσεις από τις οποίες ξεκινούν δύο περιμετρικές τάφροι, στις οποίες απορρέει το νερό από τις λεκάνες απορροής Α2 και Α3, αντίστοιχα (Παράρτημα Α). Στα σημεία αυτά δημιουργείται συμβολή, με αποτέλεσμά να αυξάνεται η παροχή. Τέλος, στις διατομές 17 και 3, η παροχή των αγωγών όμβριων υδάτων, που έχουν υπολογιστεί στο 2ο κεφάλαιο, προστίθεται στην παροχή του κυρίως υδατορεύματος.

Η αριθμητική προσομοίωση της ελεύθερης επιφάνειας της ροής και ο έλεγχος ως προς την επάρκεια της κύριας κοίτης του Αναύρου στη διοχέτευση των παροχών αιχμής, γίνεται για τις περιόδους επαναφοράς 10, 25, 50, 100 και 1000 ετών, όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.2.

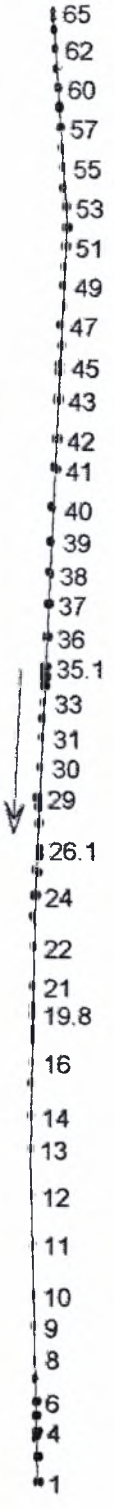
Στην προσομοίωση ζητείται σε κάθε σημείο ο προσδιορισμός του κρίσιμου βάθους με τη χρήση της παραβολικής μεθόδου, αναφορά της οποίας έγινε στο 3ο κεφάλαιο.

Η μονοδιάστατη αριθμητική προσομοίωση της ροής στο φυσικό υδατόρευμα του Αναύρου πραγματοποιήθηκε υπό συνθήκες μόνιμης ροής. Με μια πρώτη αριθμητική δοκιμή διαπιστώθηκε ότι η ροή του υδατορεύματος είναι κυρίως υποκρίσιμη, αλλά σε κάποια θέση παρατηρήθηκε ότι η ελεύθερη επιφάνεια είναι χαμηλότερη του κρίσιμου βάθους. Επομένως, η αριθμητική προσομοίωση της ροής έγινε υπό συνθήκες μικτής ροής.

Ως οριακές συνθήκες για την έναρξη των υπολογισμών, δίνονται στο πρόγραμμα οι κλίσεις του πυθμένα στην είσοδο και στην έξοδο του υπό μελέτη τμήματος του ποταμού Αναύρου, οι οποίες, κατά προσέγγιση, είναι και οι κλίσεις της γραμμής ενέργειας. Η κλίση του υδατορεύματος ανάντη είναι 0.088, ενώ η τιμή της κατάντη του υδατορεύματος είναι 0.03.

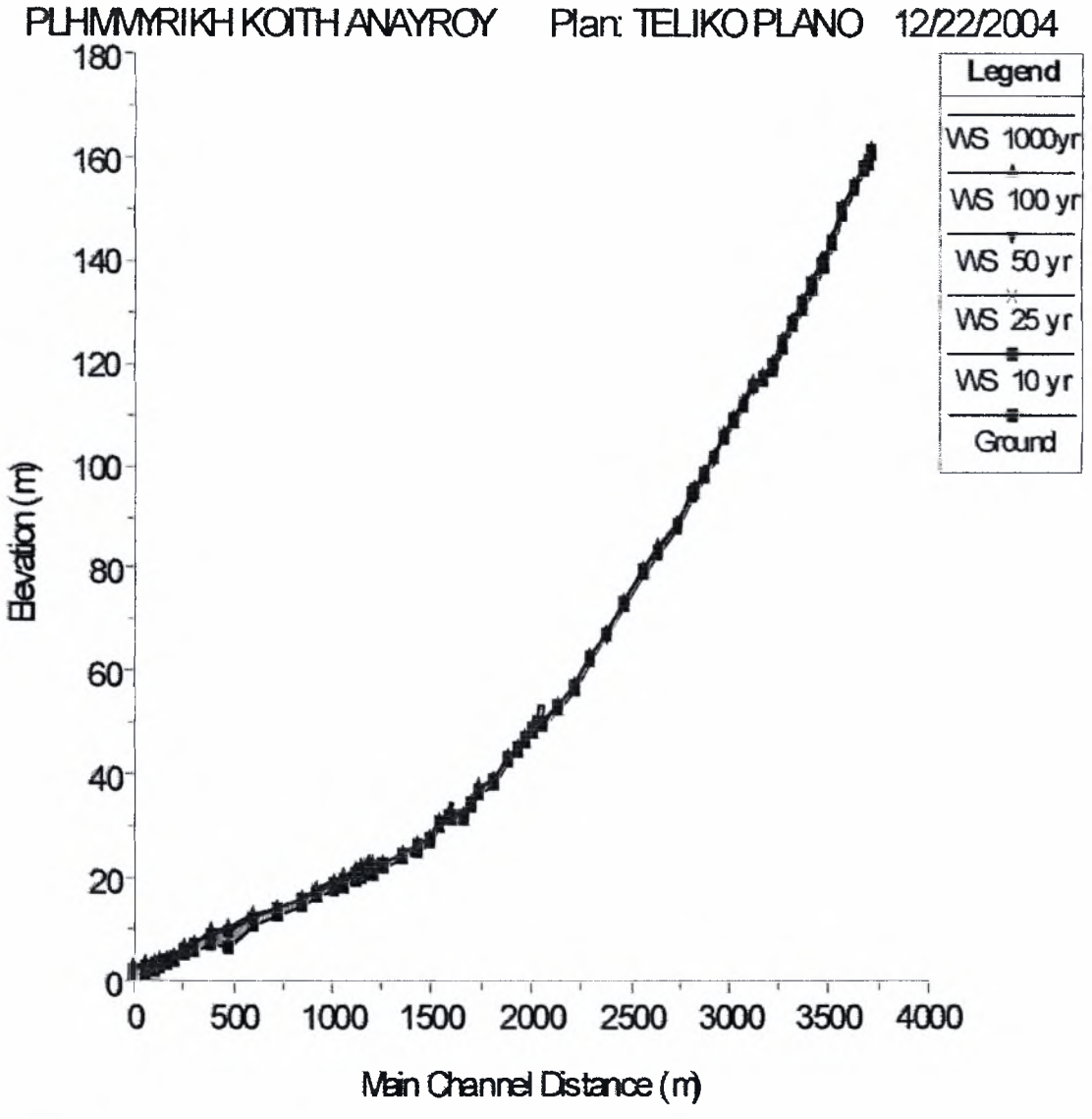
## 4.3 Παρουσίαση των διατομών ελέγχου

Η προσομοίωση του υδατορεύματος με τη βοήθεια του HEC-RAS έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα. Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζεται το μοντέλο του κυρίως υδατορεύματος του ποταμού Αναύρου. Στο σκαρίφημα φαίνονται οι θέσεις των διατομών ελέγχου 65 έως 1, οι οποίες είναι τοποθετημένες από την υψηλότερη διατομή ανάντη (Διατομή 65) στη χαμηλότερη διατομή κατάντη (Διατομή 1).




**Σχήμα 4.1:** Σκαρίφημα των διατομών έλεγχου του υπό μελέτη τμήματος του υδατορεύματος Αναύρου.

Στο σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η κατά μήκος τομή του εξεταζόμενου τμήματος του ποταμού Αναύρου, για μέγιστες πλημμυρικές παροχές με περιόδους επαναφοράς 10, 25, 50, 100 και 1000 ετών.

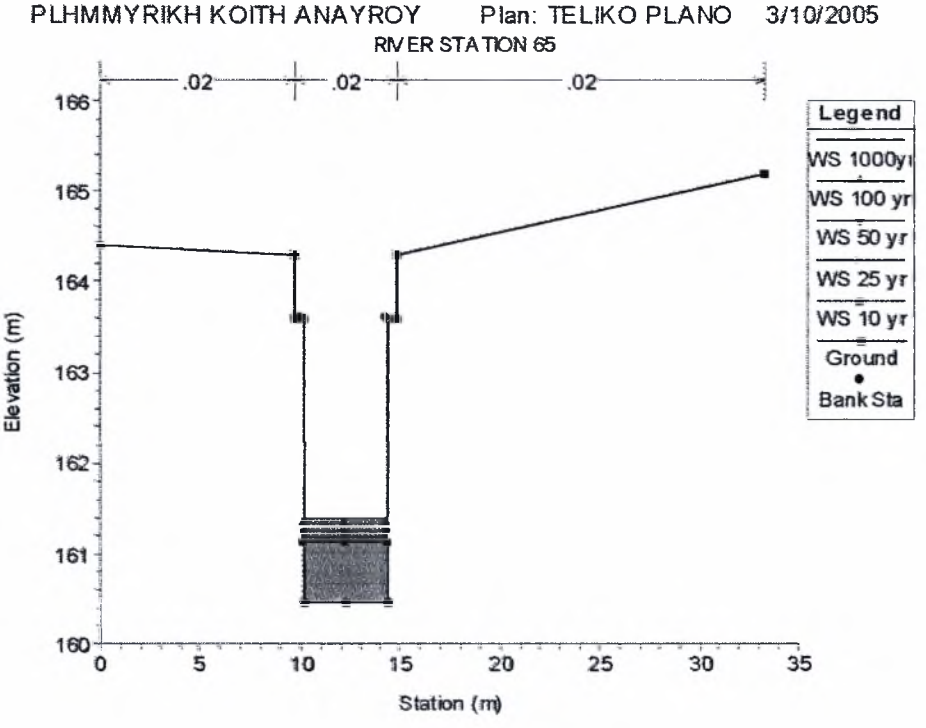



**Σχήμα 4.2 :** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας κατά μήκος του κυρίως υδατορεύματος για μέγιστες πλημμυρικές παροχές με περιόδους επαναφοράς 10, 25, 50, 100 & 1000 ετών.

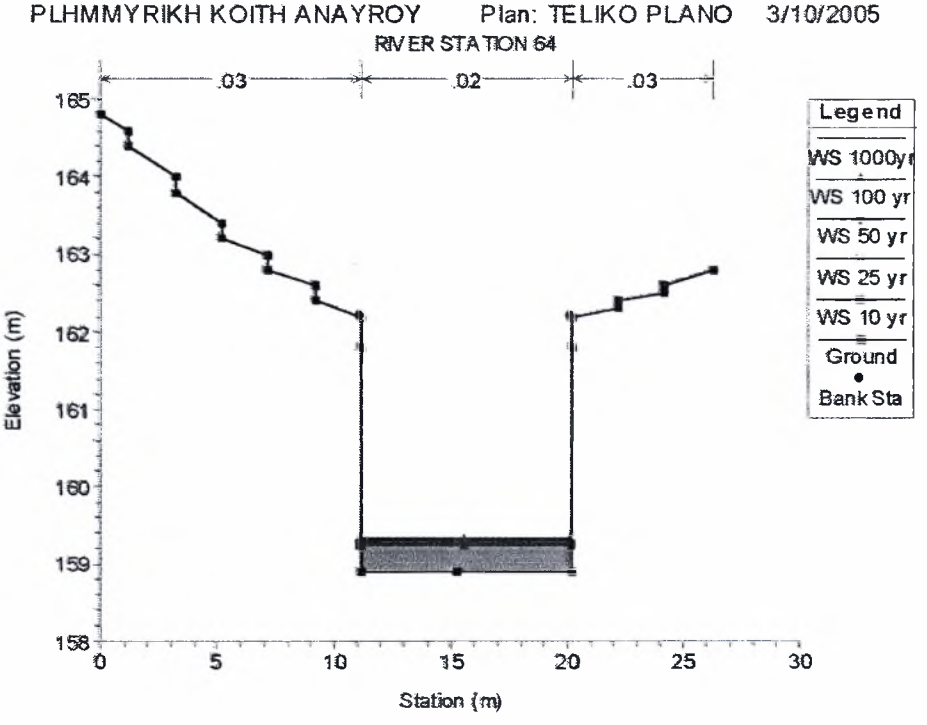
Στο σχήμα 4.3 παρουσιάζεται η τρισδιάστατη απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας του υπό μελέτη τμήματος του ποταμού Αναύρου, για μέγιστες πλημμυρικές παροχές με περιόδους επαναφοράς 10, 25, 50, 100 και 1000 ετών.


**Σχήμα 4.3:** Τρισδιάστατη απεικόνιση του κυρίως υδατορεύματος.

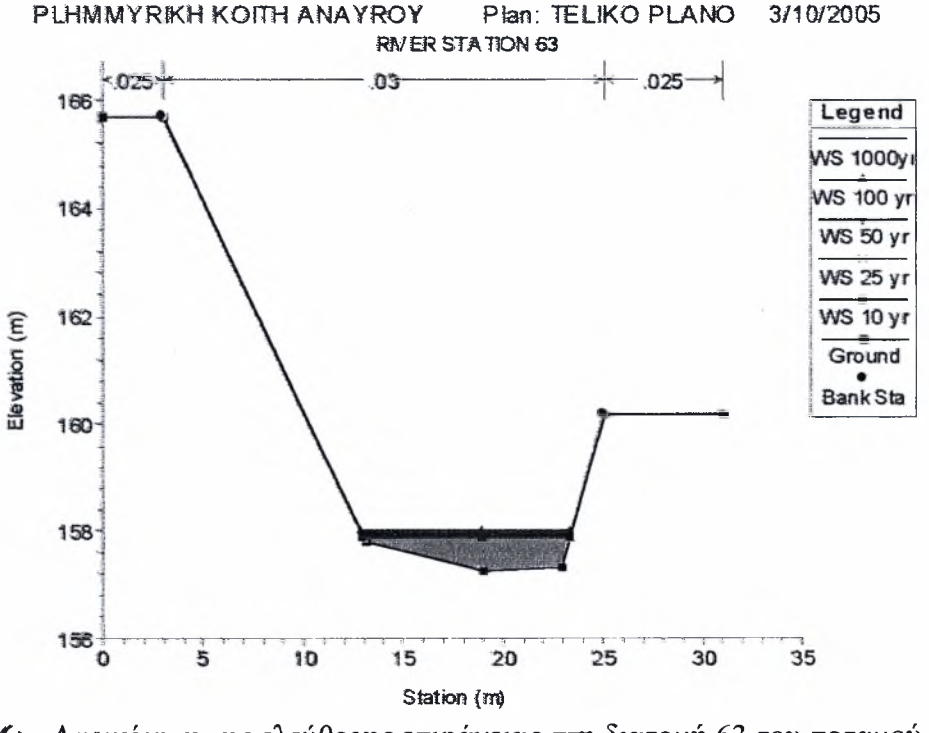
Στα σχήματα 4.4 έως και 4.77 παρουσιάζεται η ελεύθερη επιφάνεια σε όλες τις υπό μελέτη διατομές του ποταμού Αναύρου, για τις μέγιστες πλημμυρικές παροχές με περιόδους επαναφοράς 10, 25, 50, 100 και 1000 ετών.



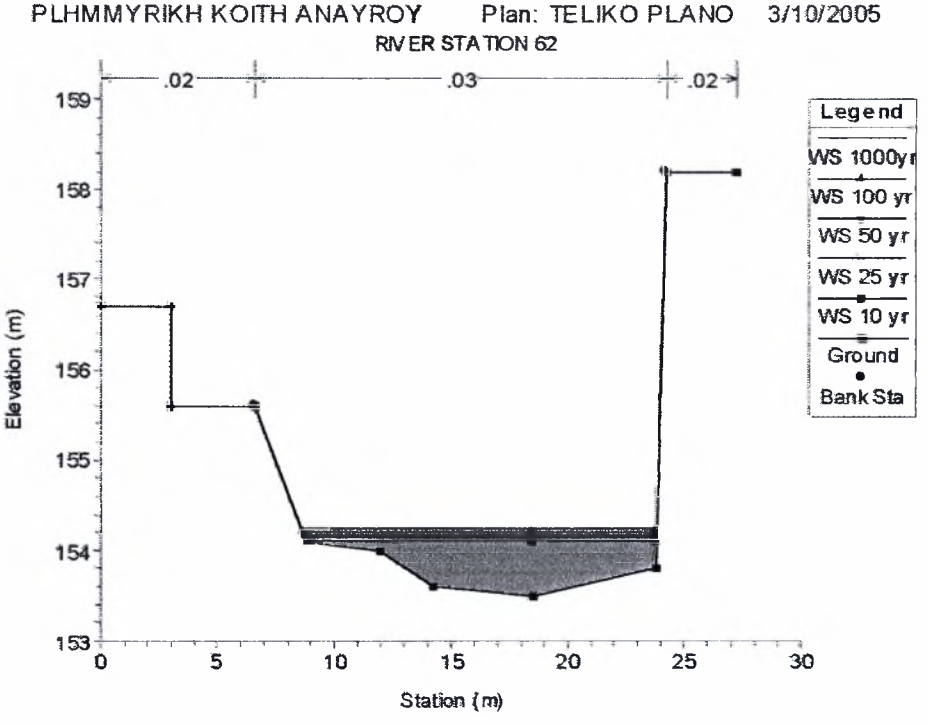

**Σχήμα 4.4:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 65 του ποταμού Αναύρου



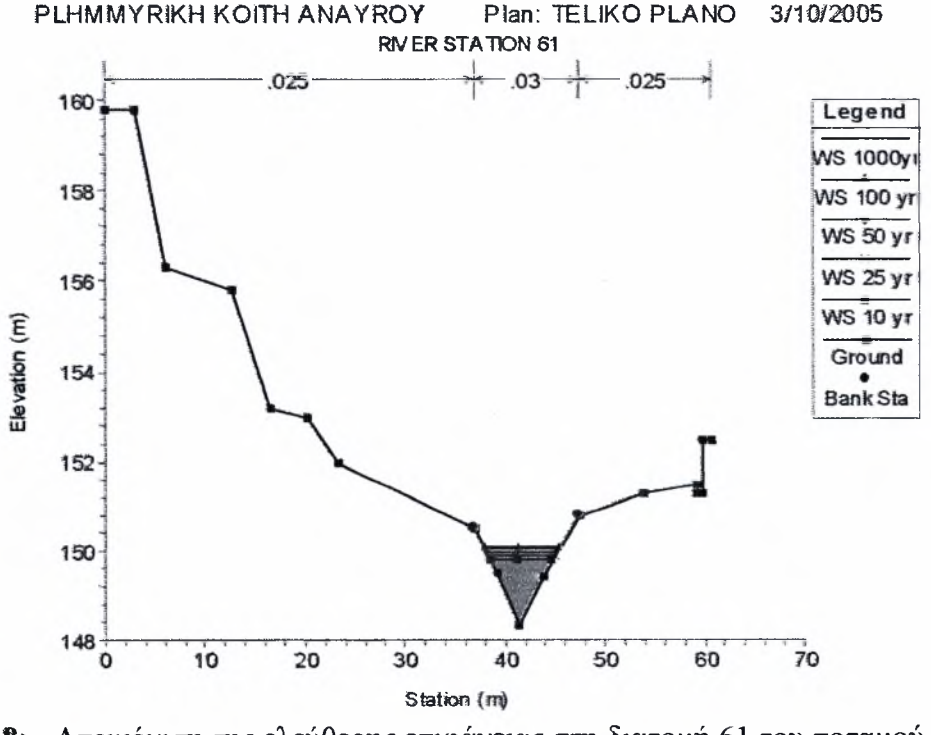

**Σχήμα 4.5:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 64 του ποταμού Αναύρου



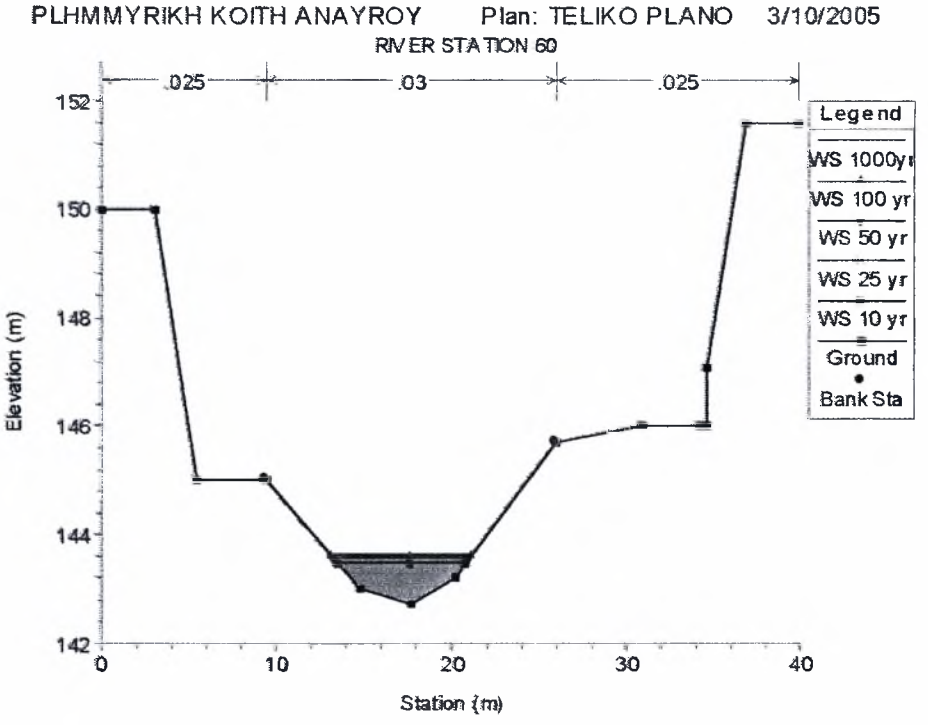

**Σχήμα 4.6:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 63 του ποταμού Αναύρου



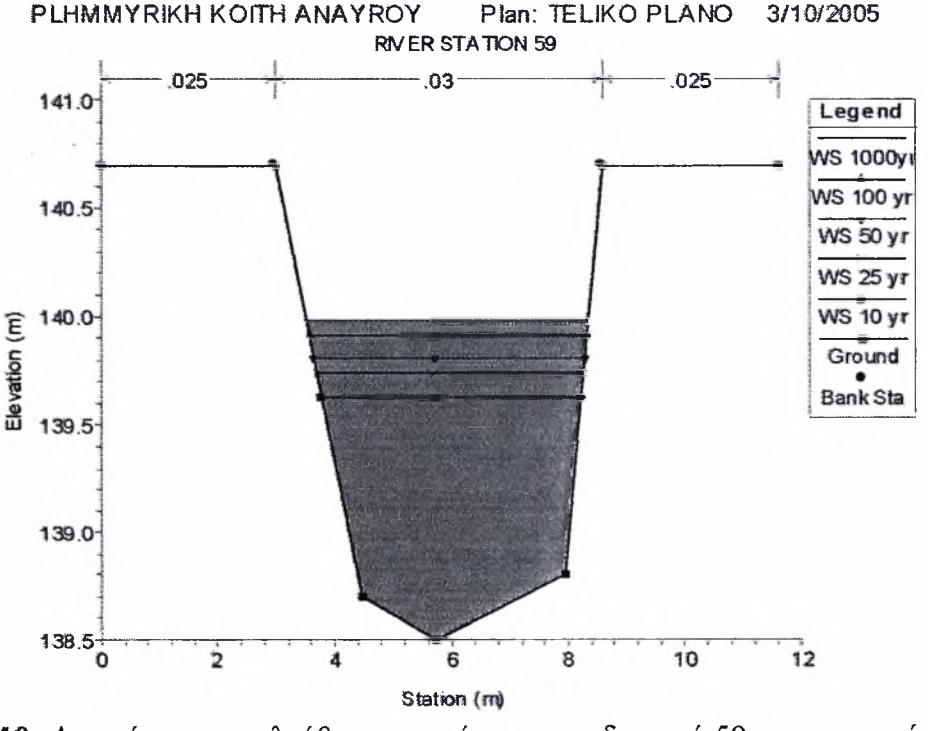

**Σχήμα 4.7:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 62 του ποταμού Αναύρου



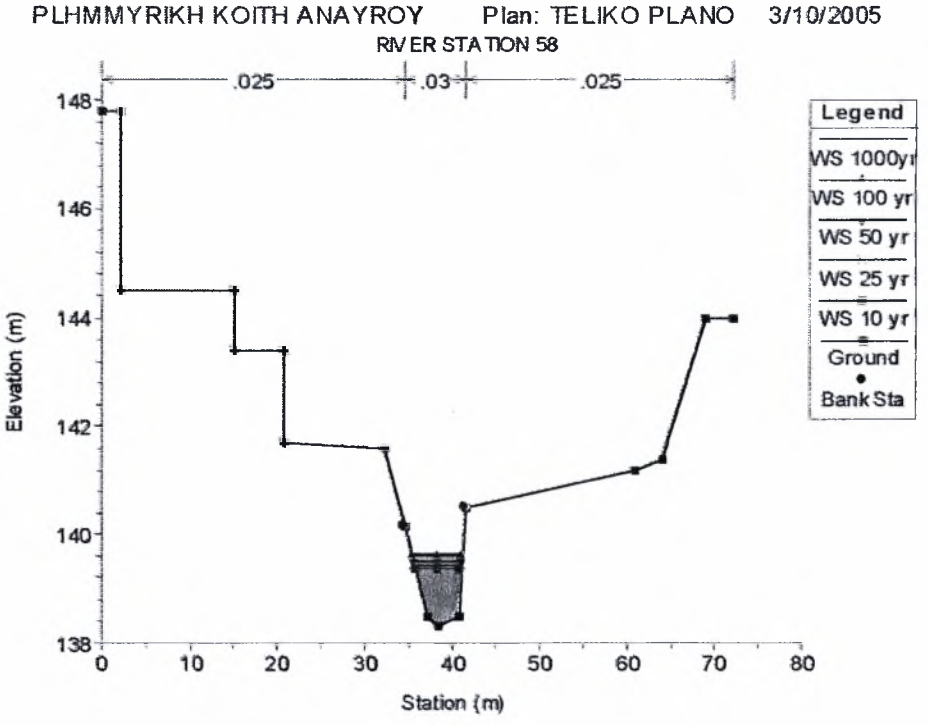

**Σχήμα 4.8:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 61 του ποταμού Αναύρου



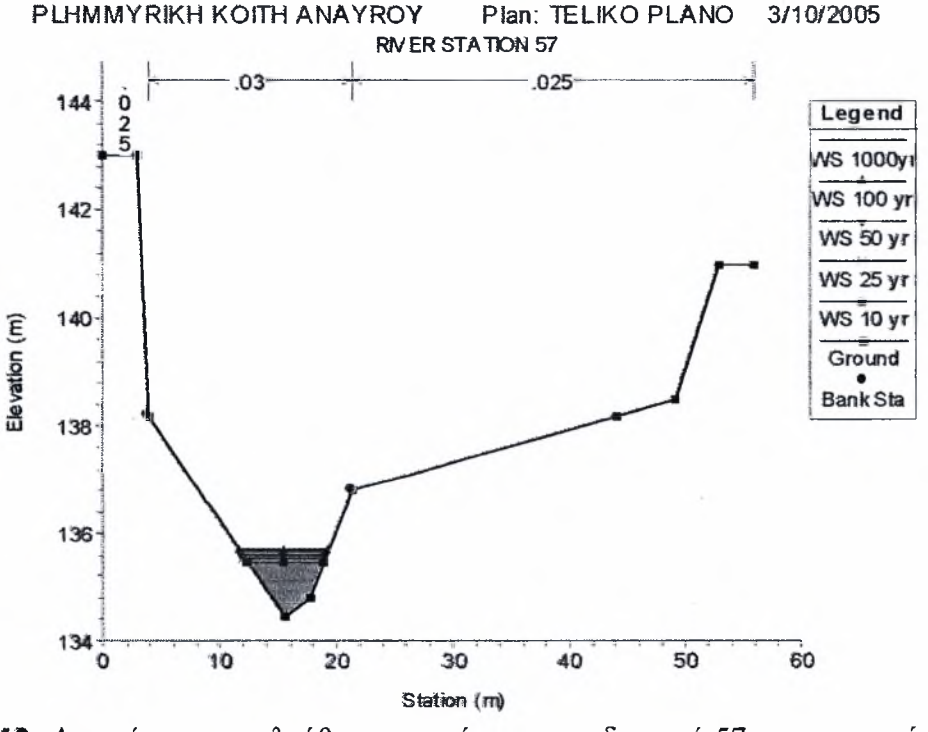

**Σχήμα 4.9:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 60 του ποταμού Αναύρου



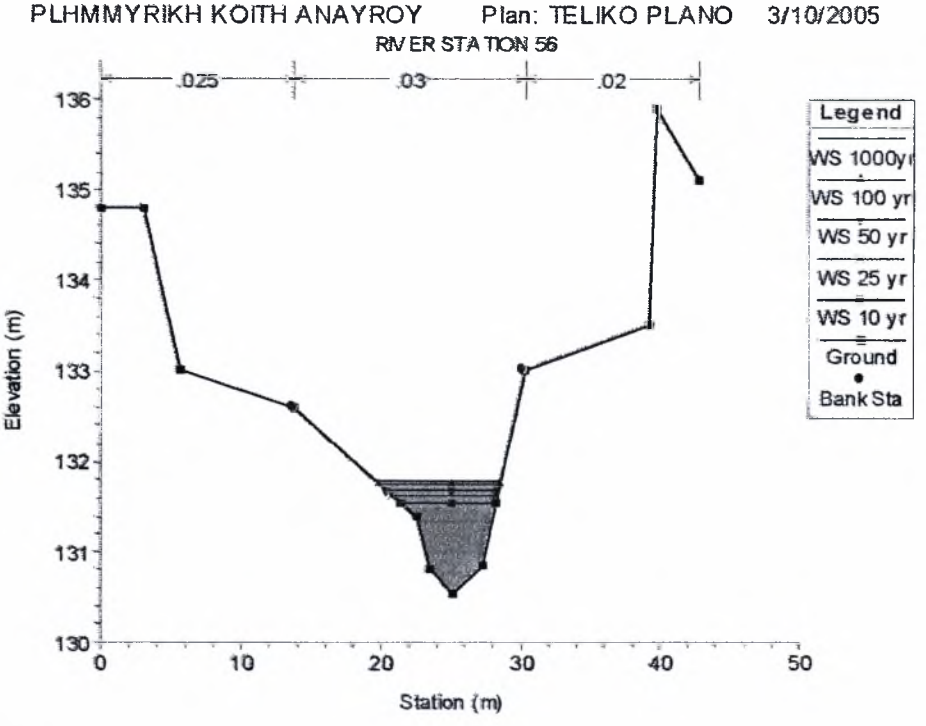

**Σχήμα 4.10:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 59 του ποταμού Αναύρου



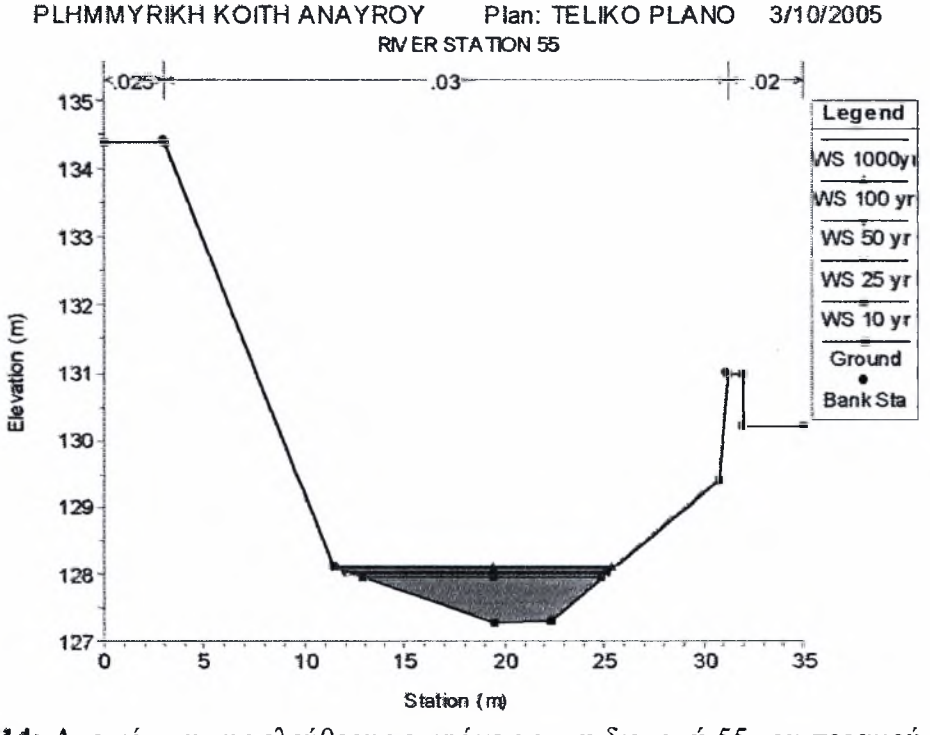

**Σχήμα 4.11:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 58 του ποταμού Αναύρου



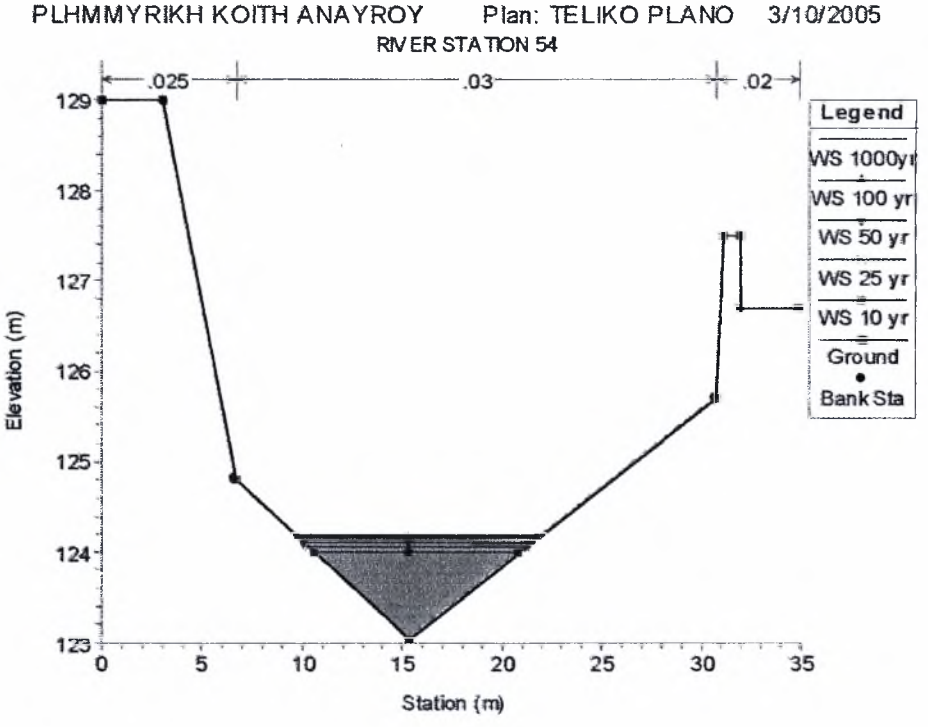

**Σχήμα 4.12:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 57 του ποταμού Αναύρου



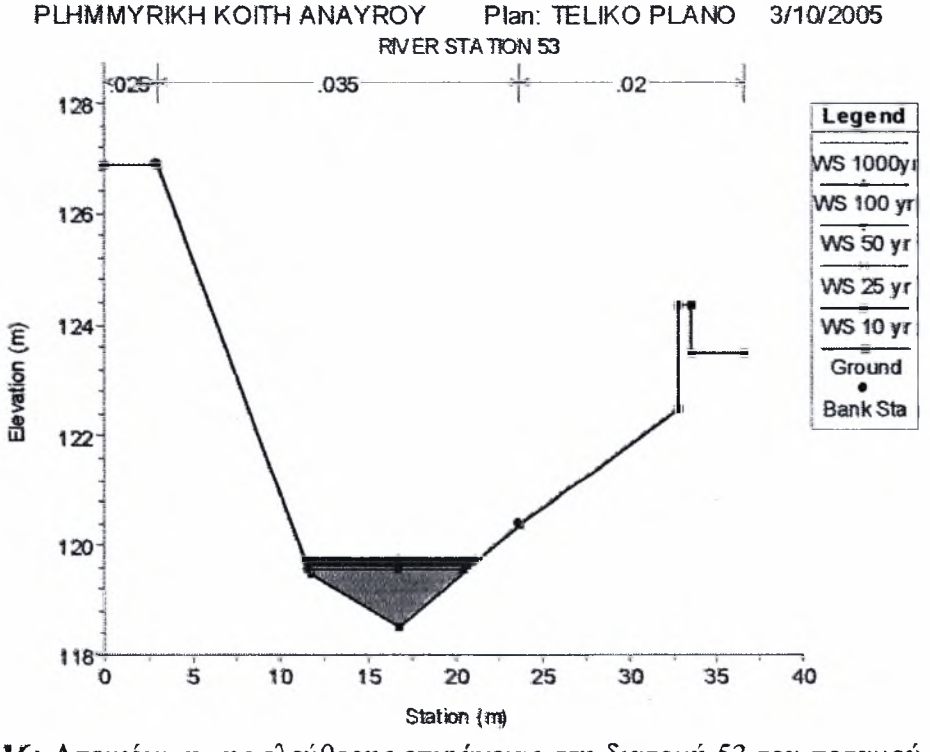

**Σχήμα 4.13:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 56 του ποταμού Αναύρου



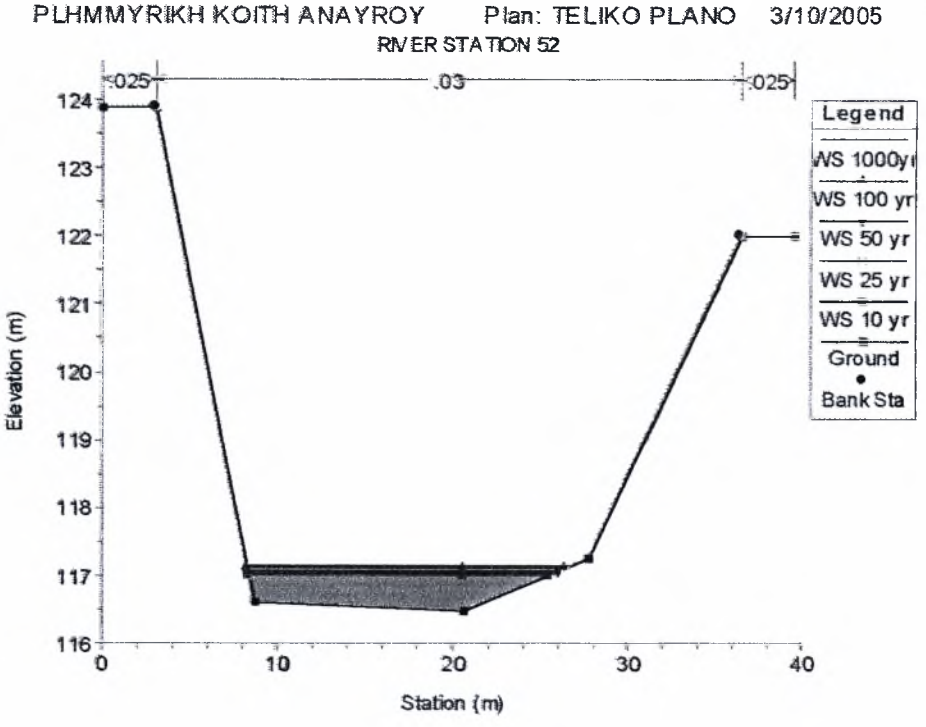

**Σχήμα 4.14:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 55 του ποταμού Αναύρου



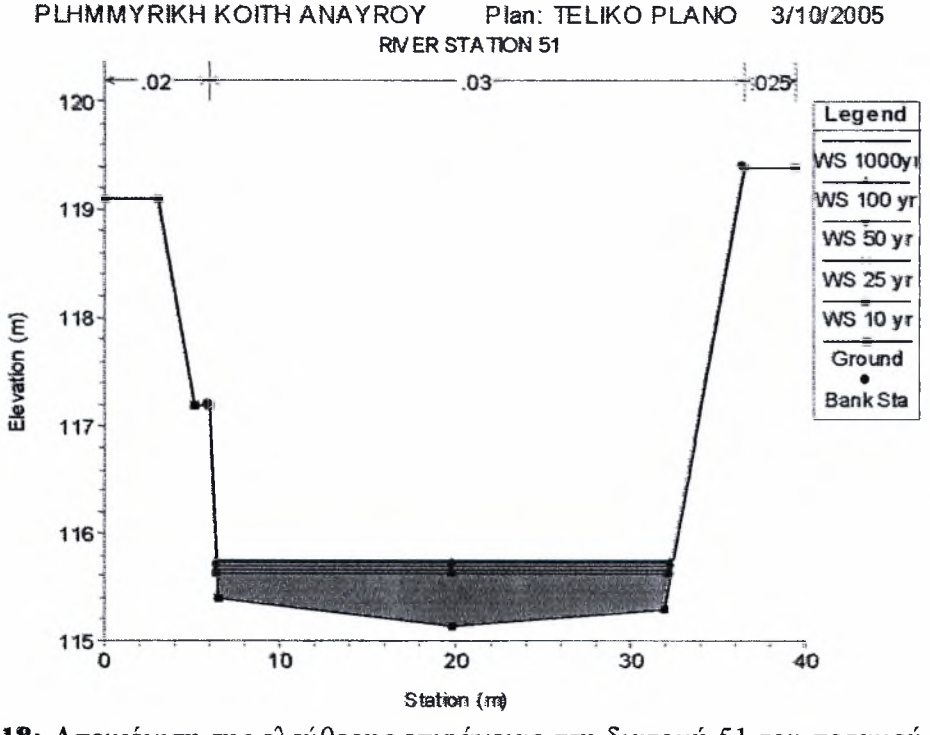

**Σχήμα 4.15:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 54 του ποταμού Αναύρου



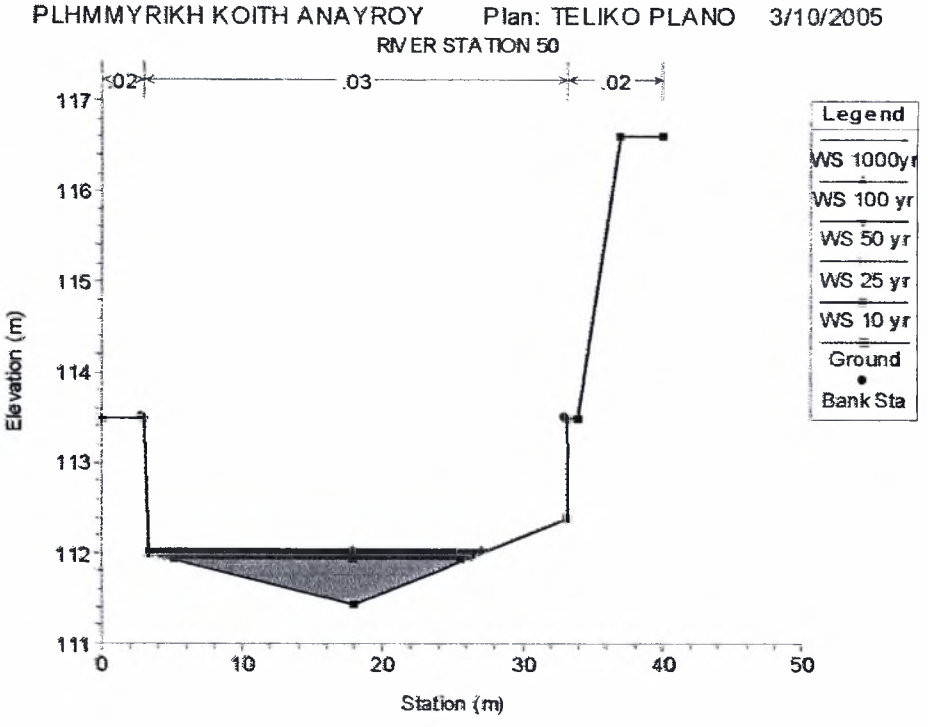

**Σχήμα 4.16:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 53 του ποταμού Αναύρου



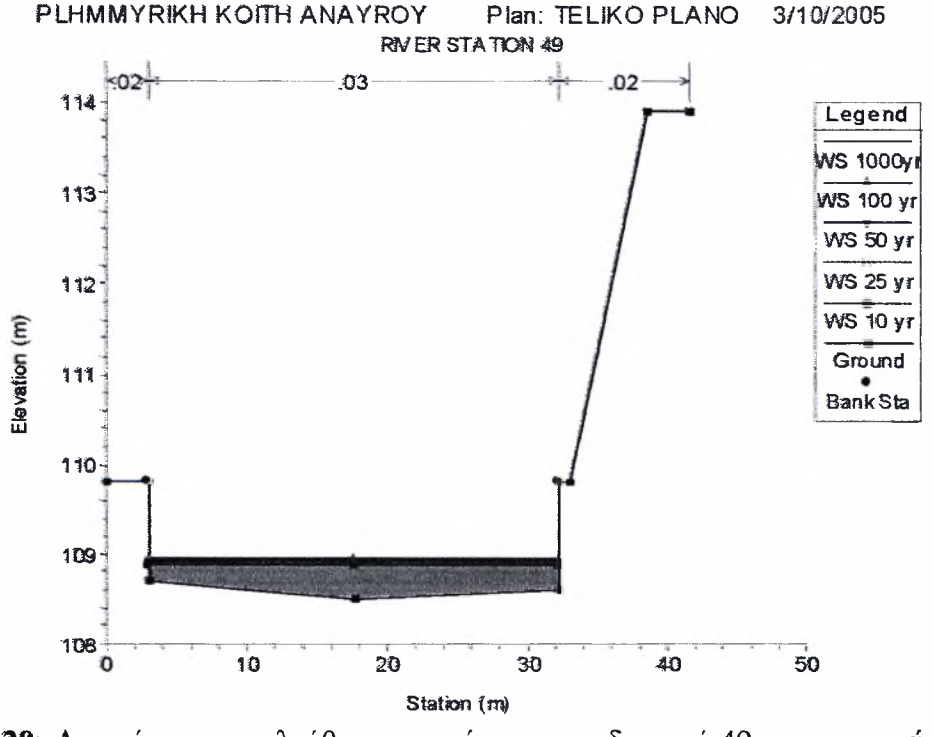

**Σχήμα 4.17:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 52 του ποταμού Αναύρου



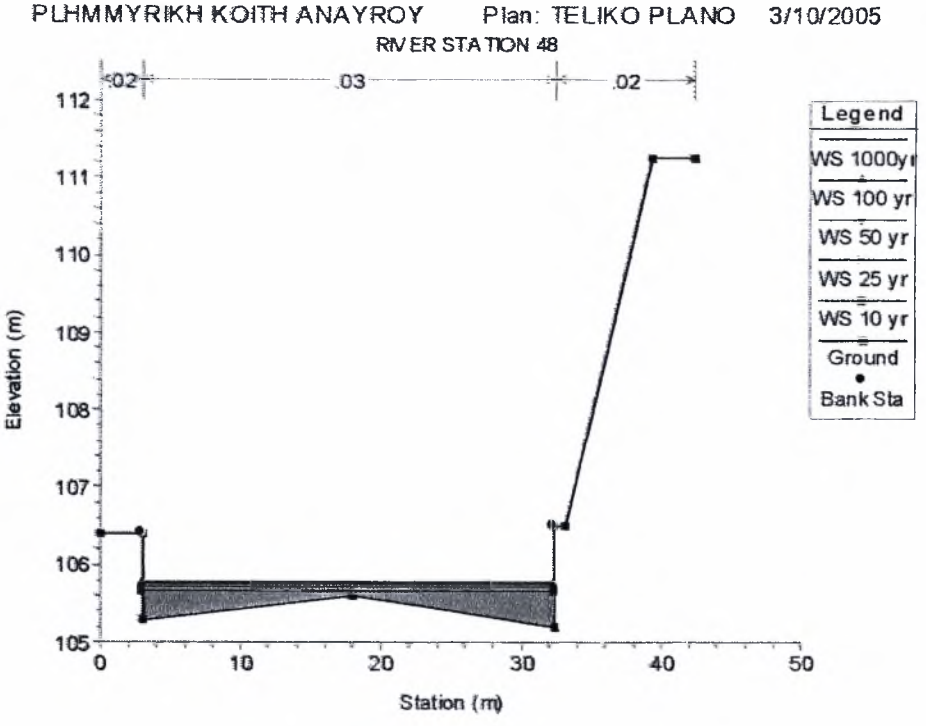

**Σχήμα 4.18:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 51 του ποταμού Αναύρου



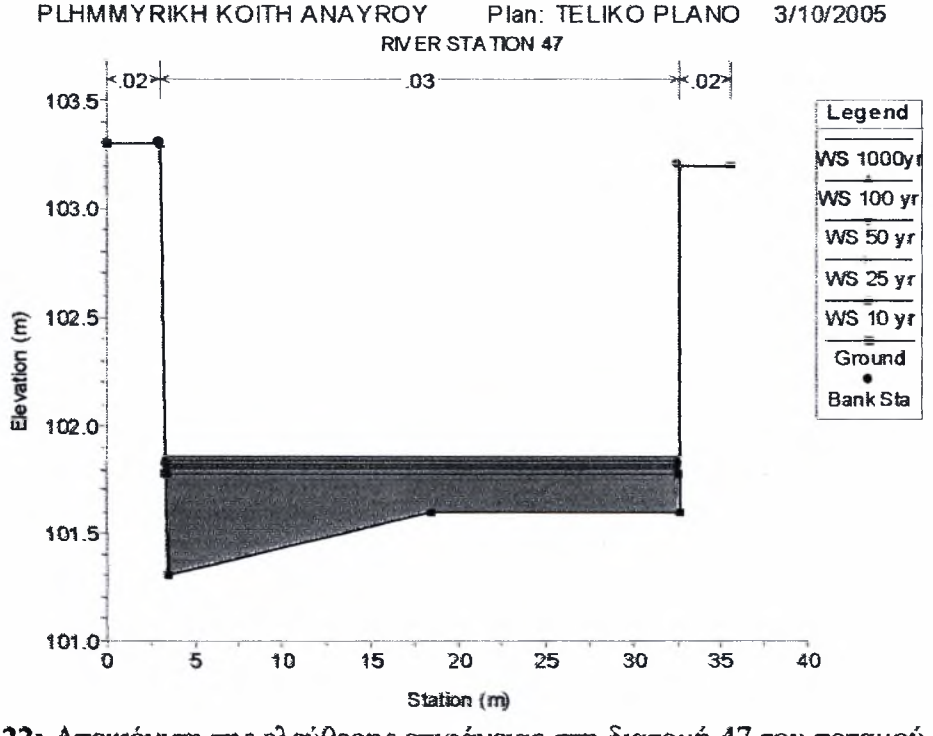

**Σχήμα 4.19:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 50 του ποταμού Αναύρου



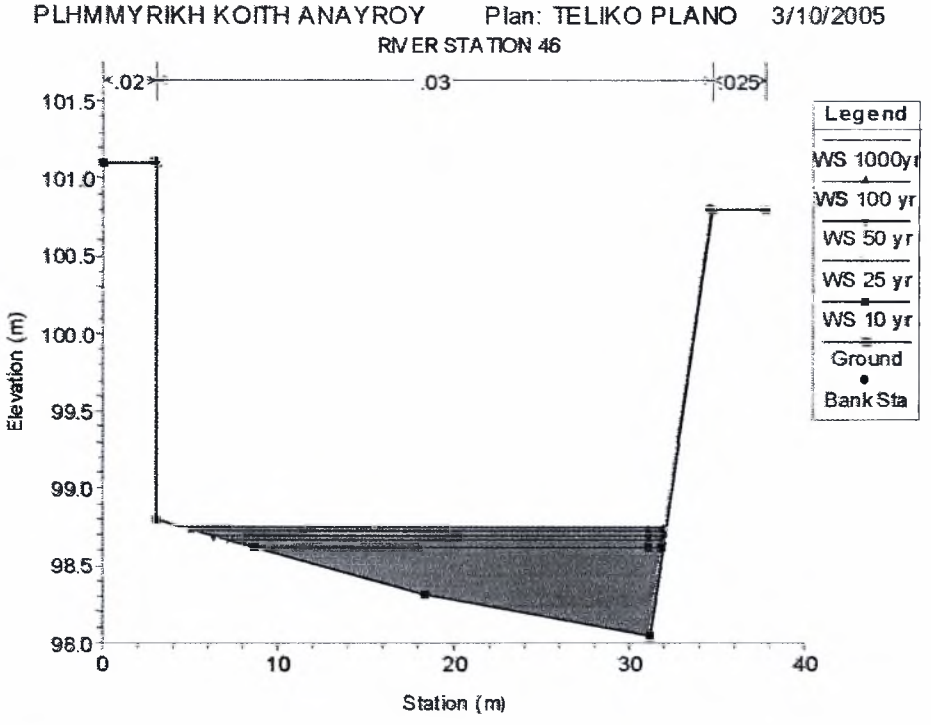

**Σχήμα 4.20:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 49 του ποταμού Αναύρου



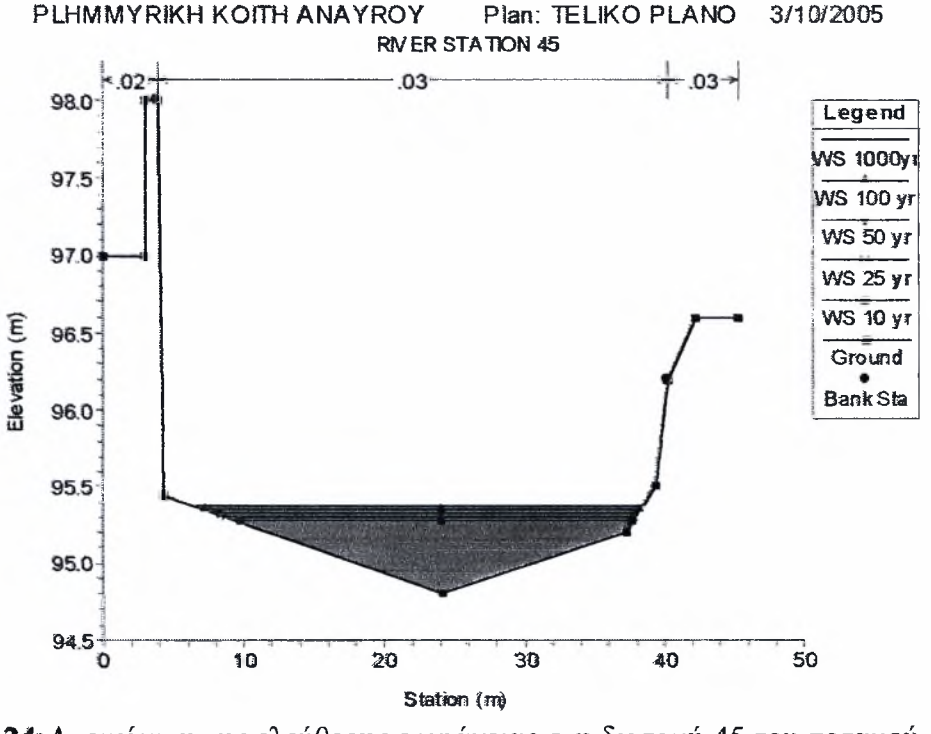

**Σχήμα 4.21:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 48 του ποταμού Αναύρου



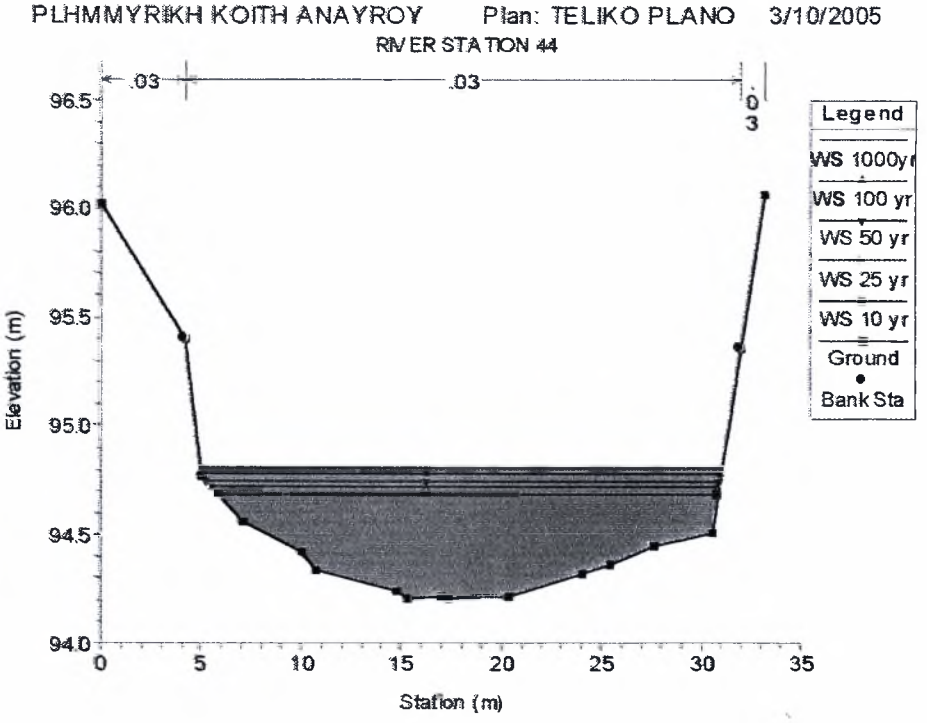

**Σχήμα 4.22:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 47 του ποταμού Αναύρου



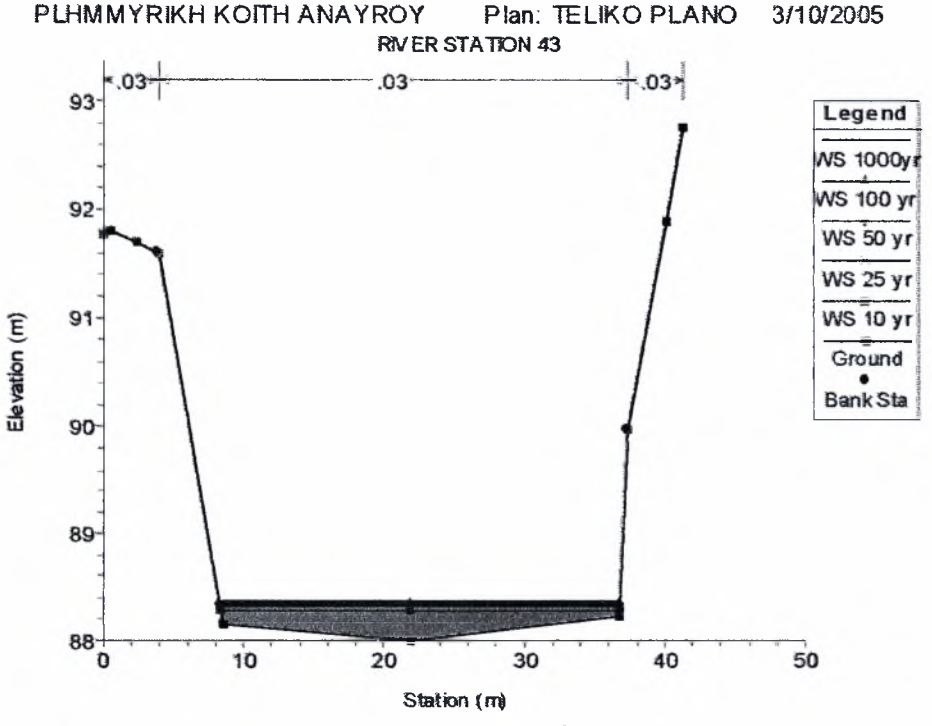

**Σχήμα 4.23:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 46 του ποταμού Αναύρου



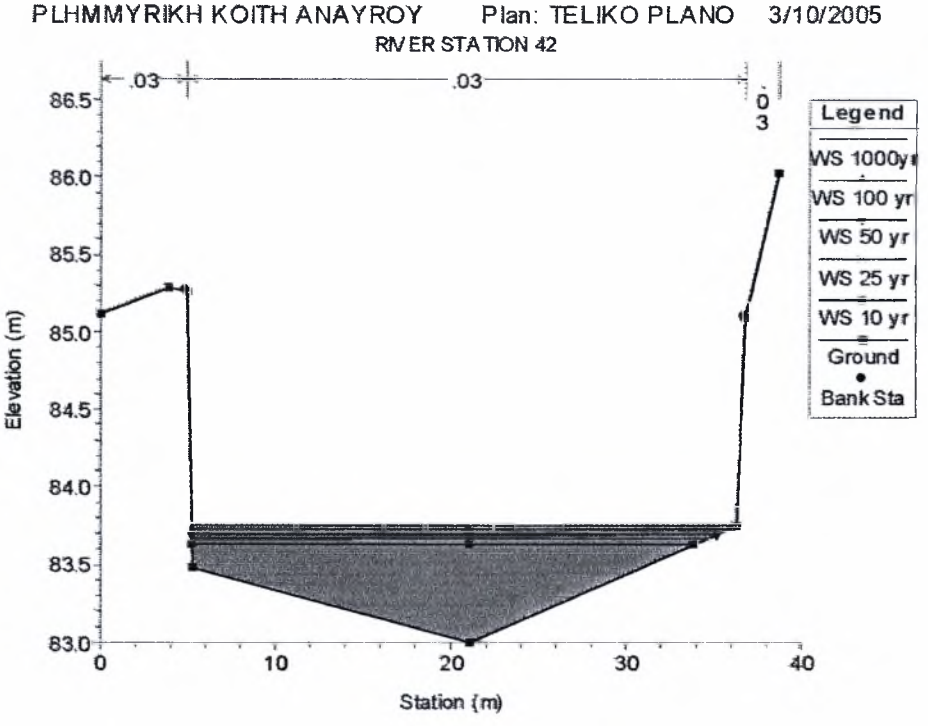

**Σχήμα 4.24:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 45 του ποταμού Αναύρου



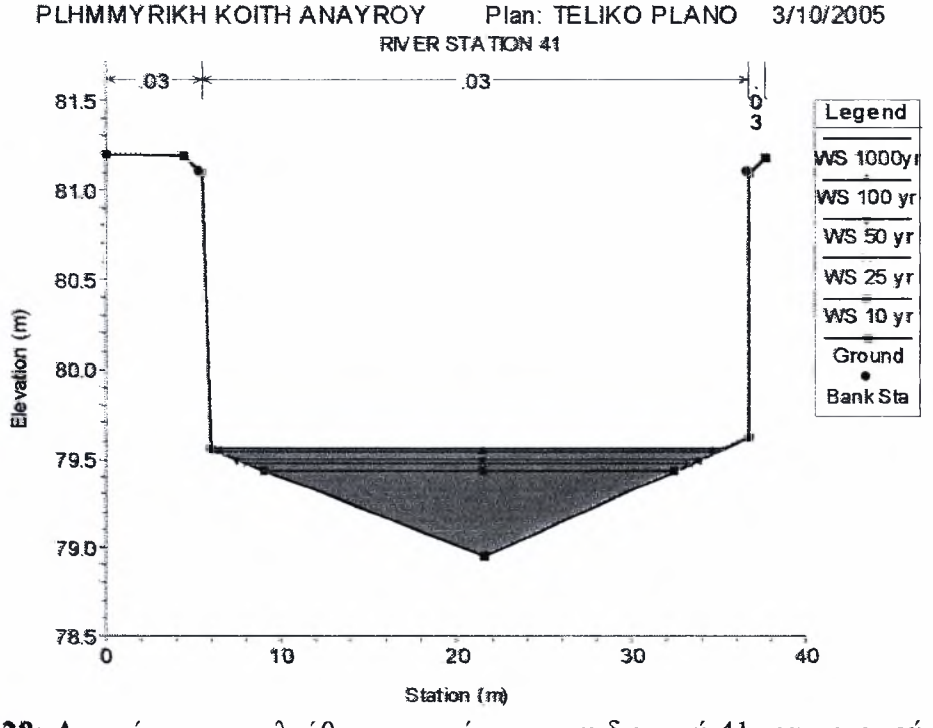

**Σχήμα 4.25:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 44 του ποταμού Αναύρου



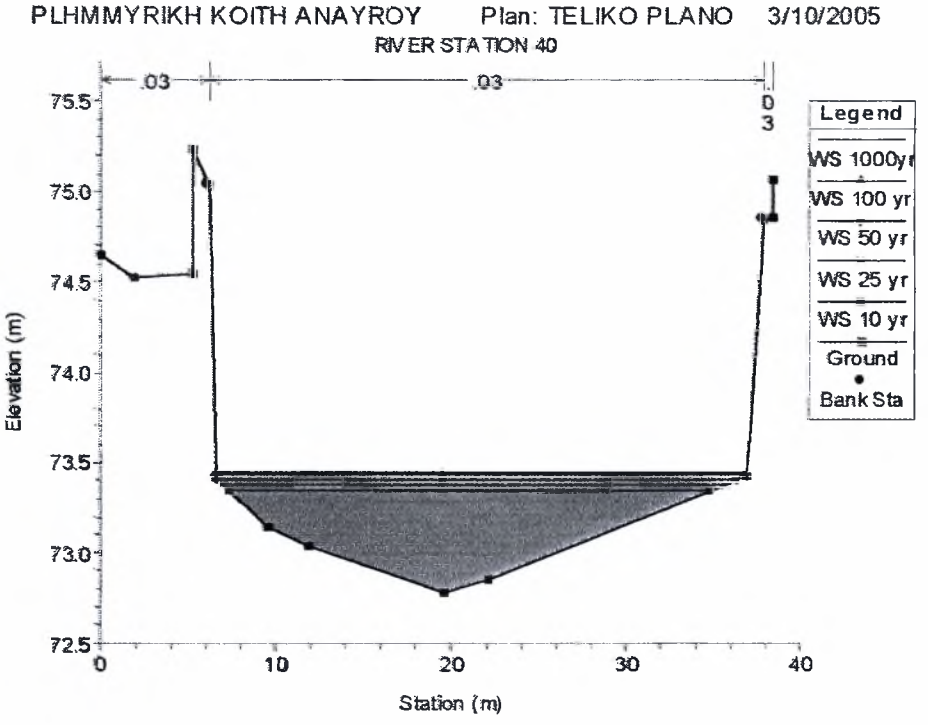

**Σχήμα 4.26:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 43 του ποταμού Αναύρου



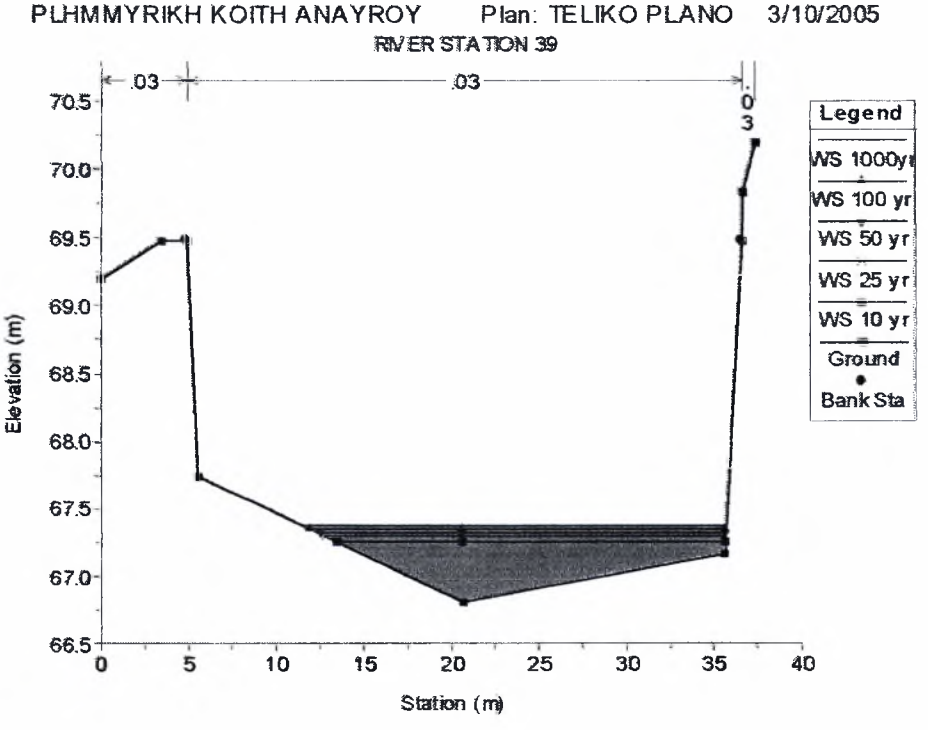

**Σχήμα 4.27:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 42 του ποταμού Αναύρου



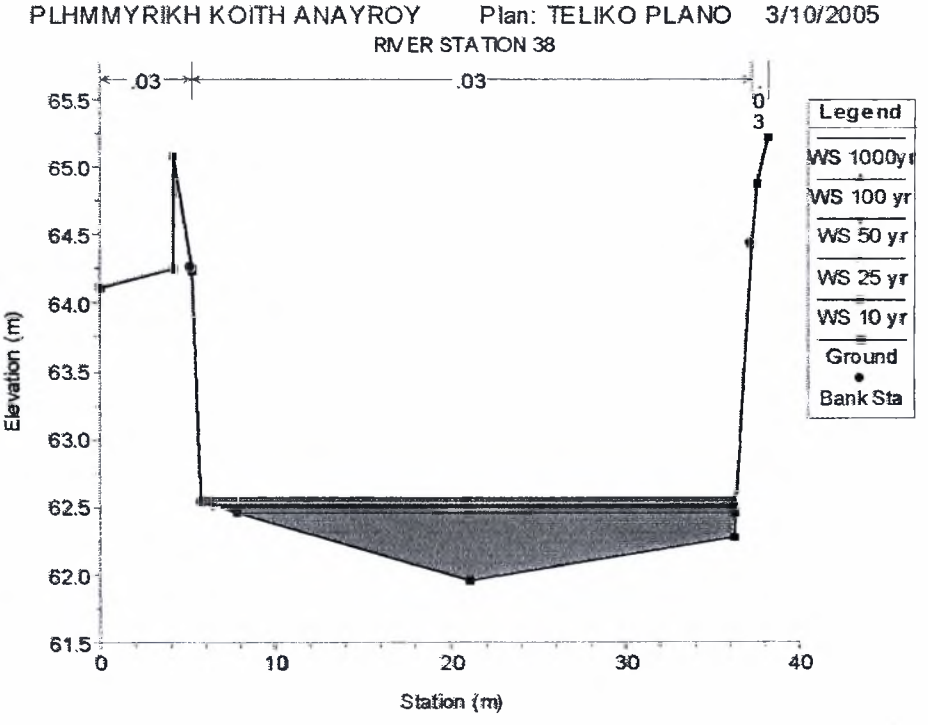

**Σχήμα 4.28:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 41 του ποταμού Αναύρου



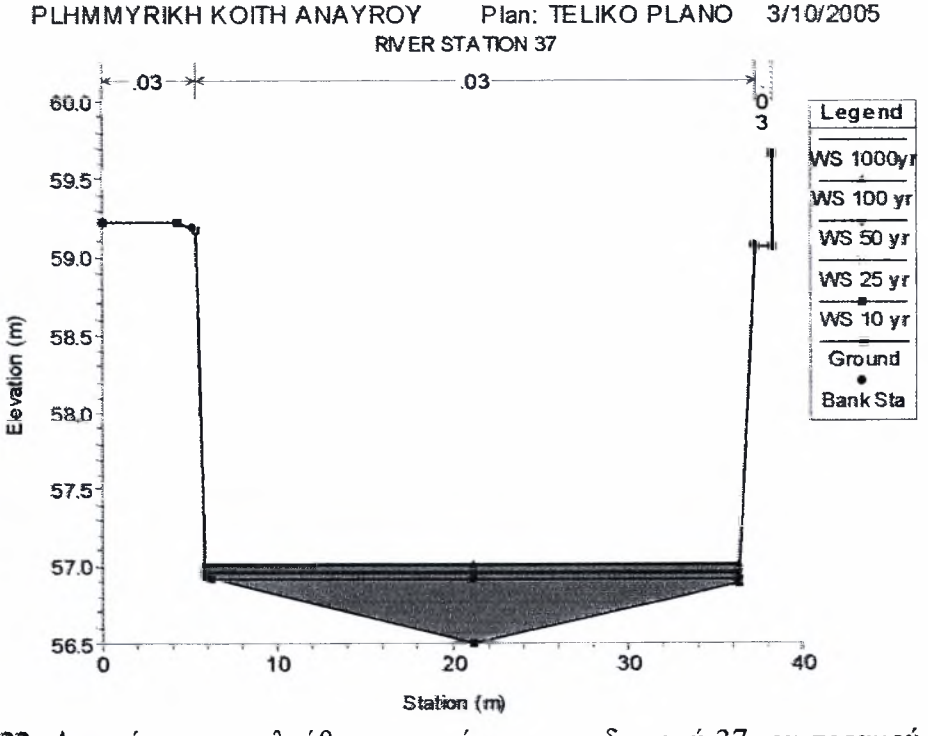

**Σχήμα 4.29:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 40 του ποταμού Αναύρου



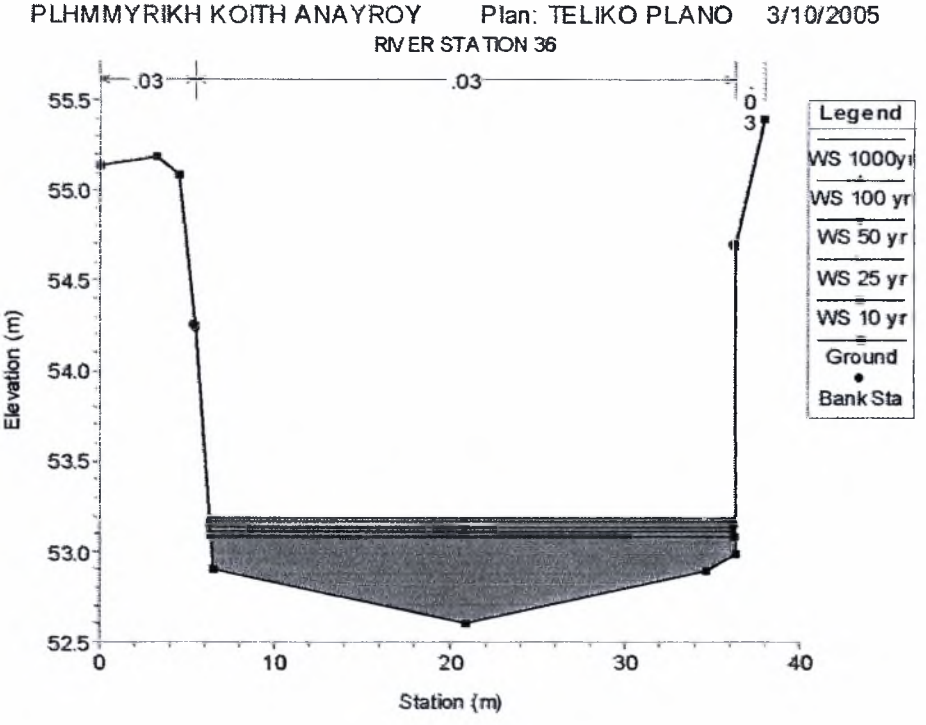

**Σχήμα 4.30:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 39 του ποταμού Αναύρου



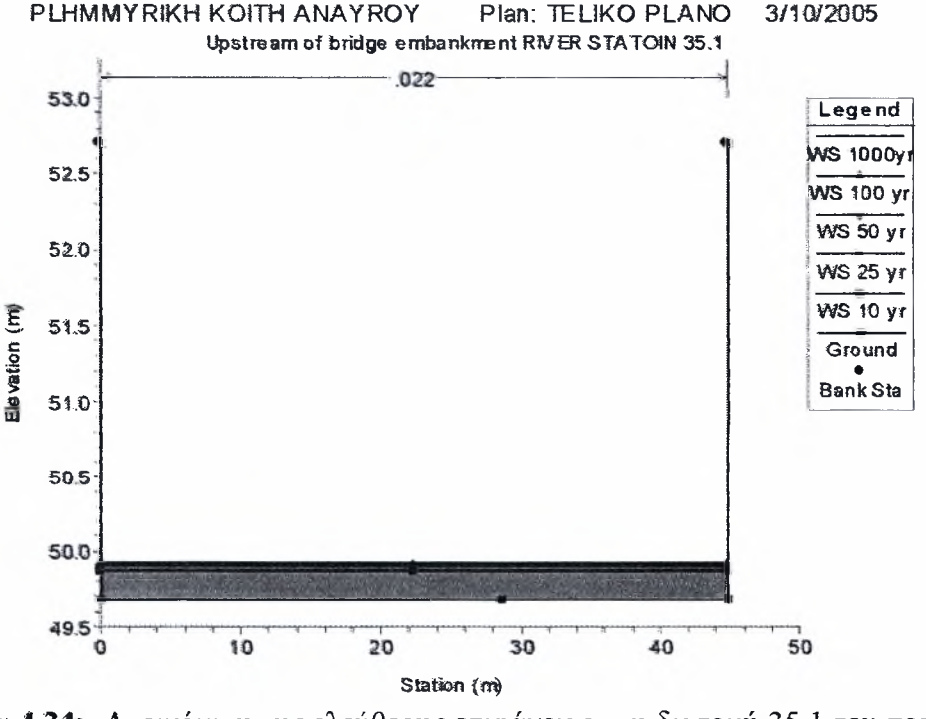

**Σχήμα 4.31:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 38 του ποταμού Αναύρου



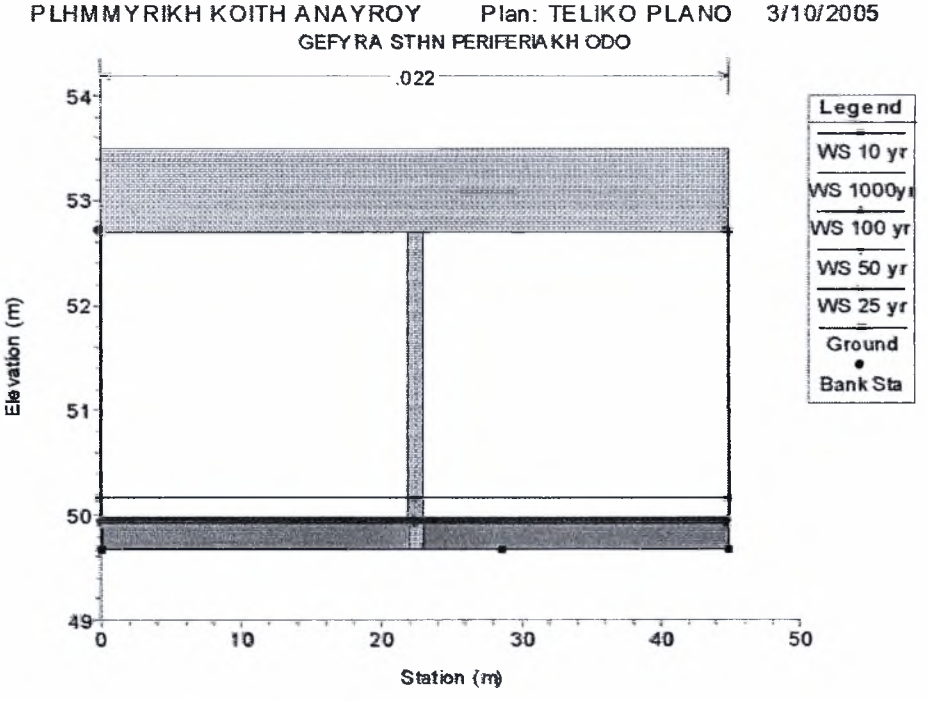

**Σχήμα 4.32:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 37 του ποταμού Αναύρου



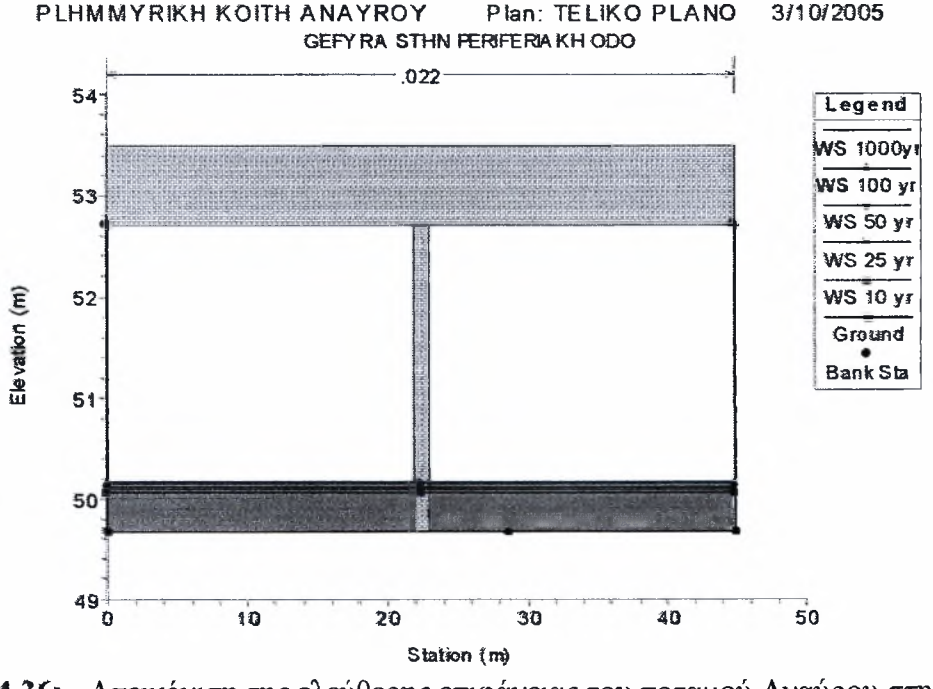

**Σχήμα 4.33:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 36 του ποταμού Αναύρου



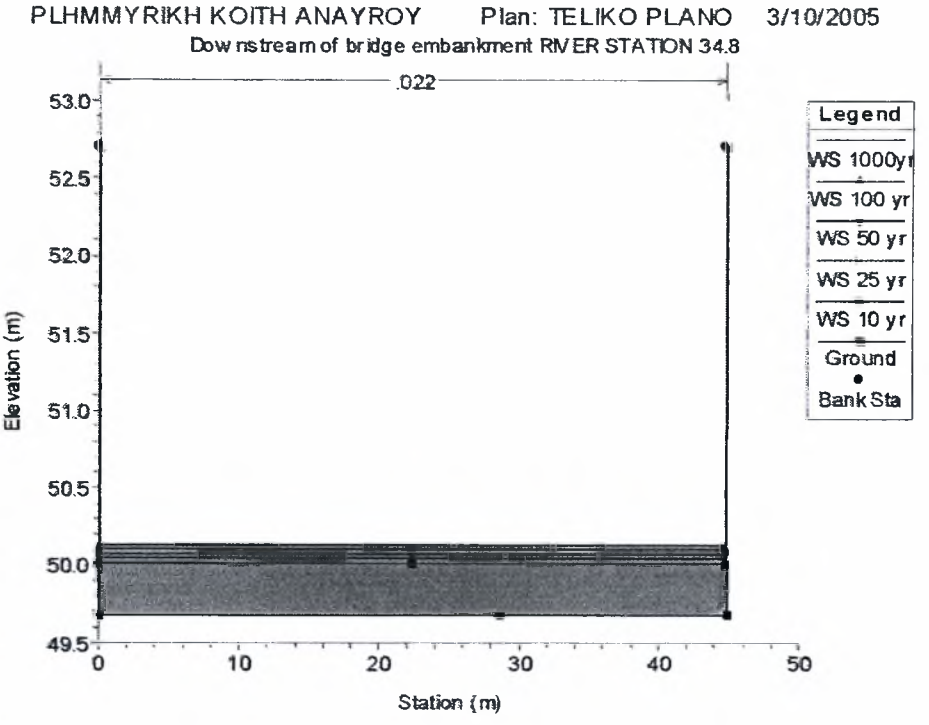

**Σχήμα 4.34:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 35.1 του ποταμού Αναύρου ανάντη της γέφυρας στην περιφερειακή οδό



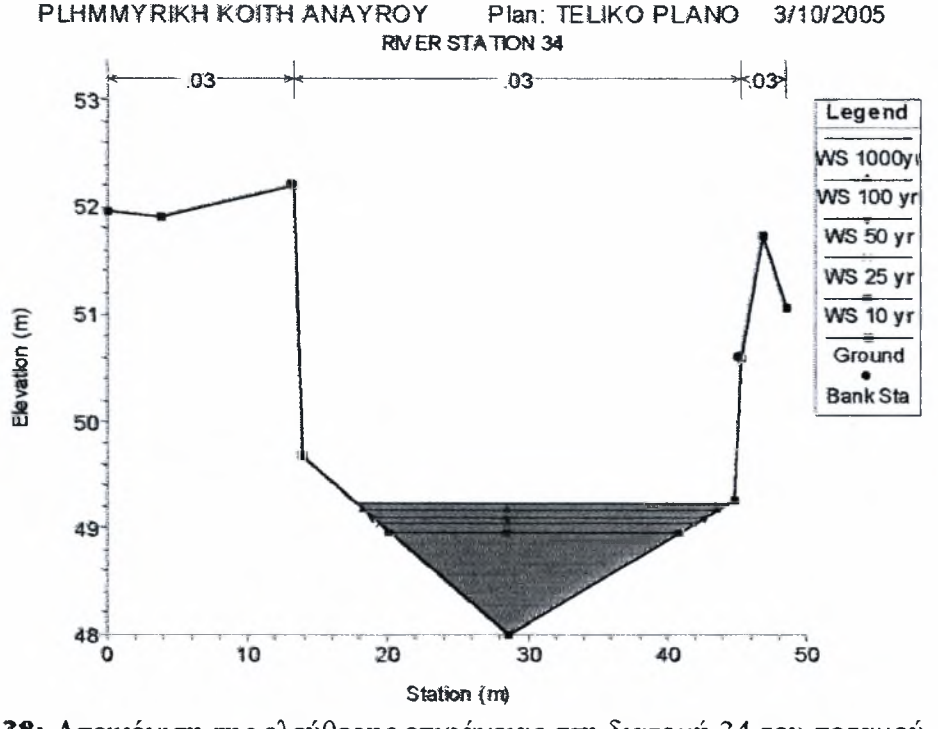

**Σχήμα 4.35:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας του ποταμού Αναύρου στη γέφυρα στην περιφερειακή οδό (πάνω όριο του καταστρώματος)



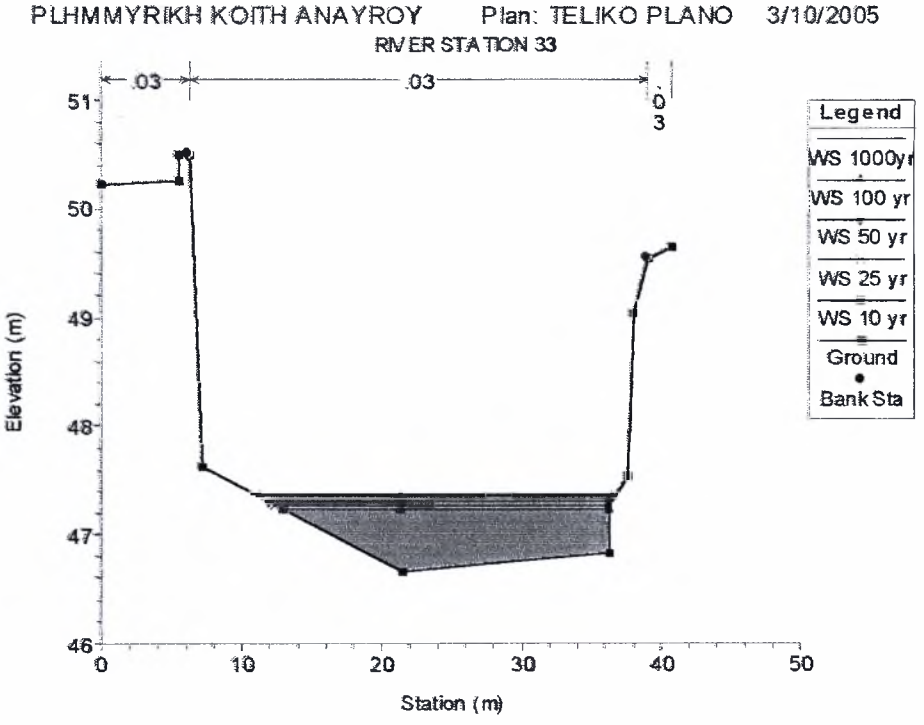

**Σχήμα 4.36:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας του ποταμού Αναύρου στη γέφυρα στην περιφερειακή οδό (κάτω όριο του καταστρώματος)



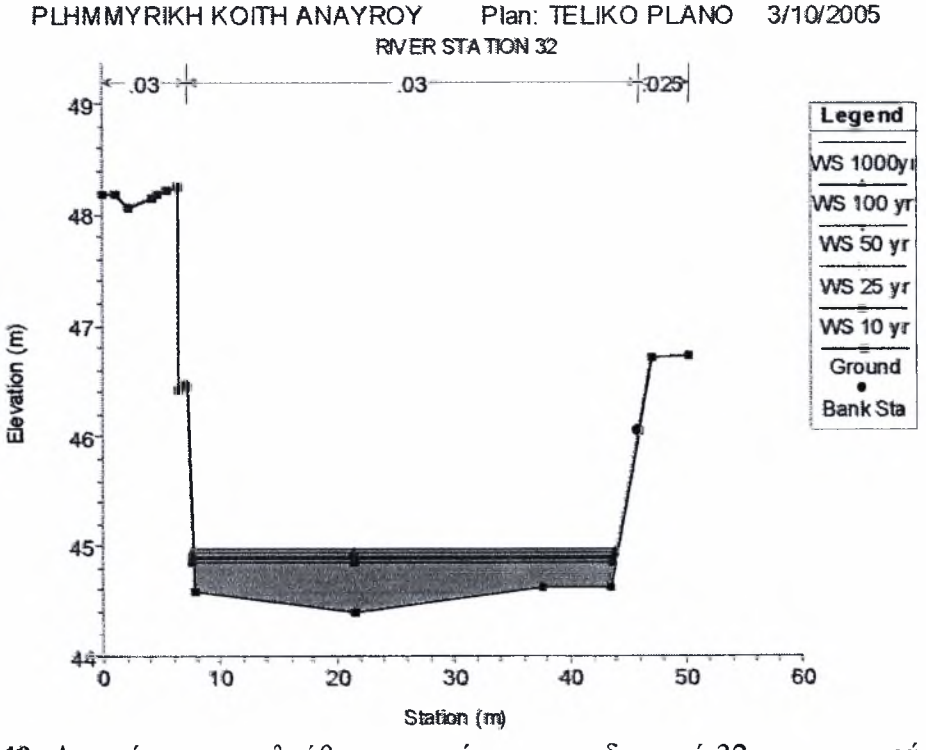

**Σχήμα 4.37:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 34.8 του ποταμού Αναύρου κατάντη της γέφυρας στην περιφερειακή οδό



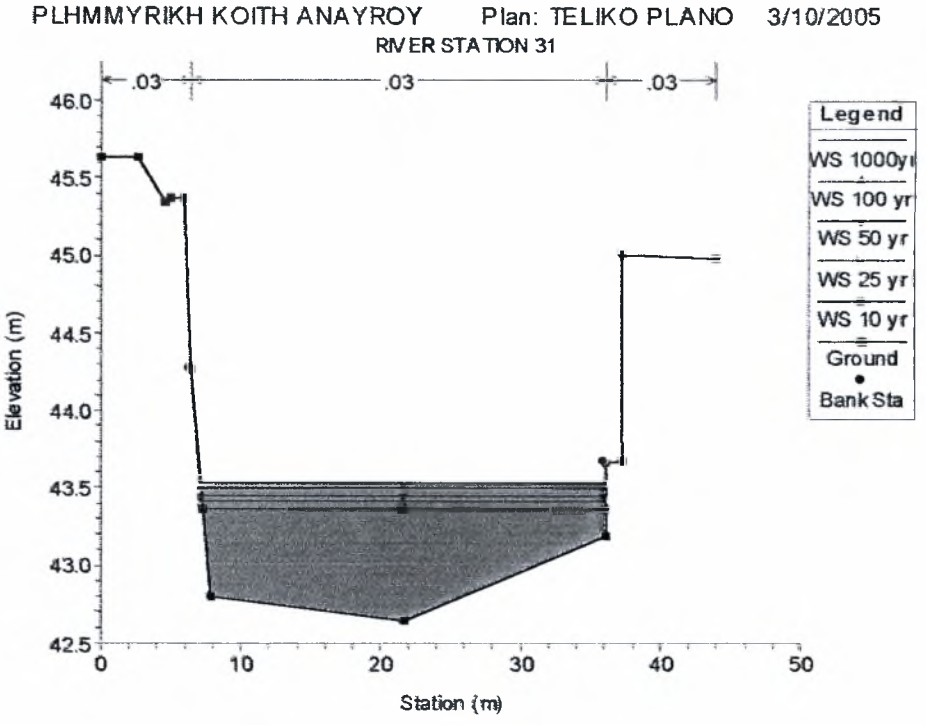

**Σχήμα 4.38:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 34 του ποταμού Αναύρου



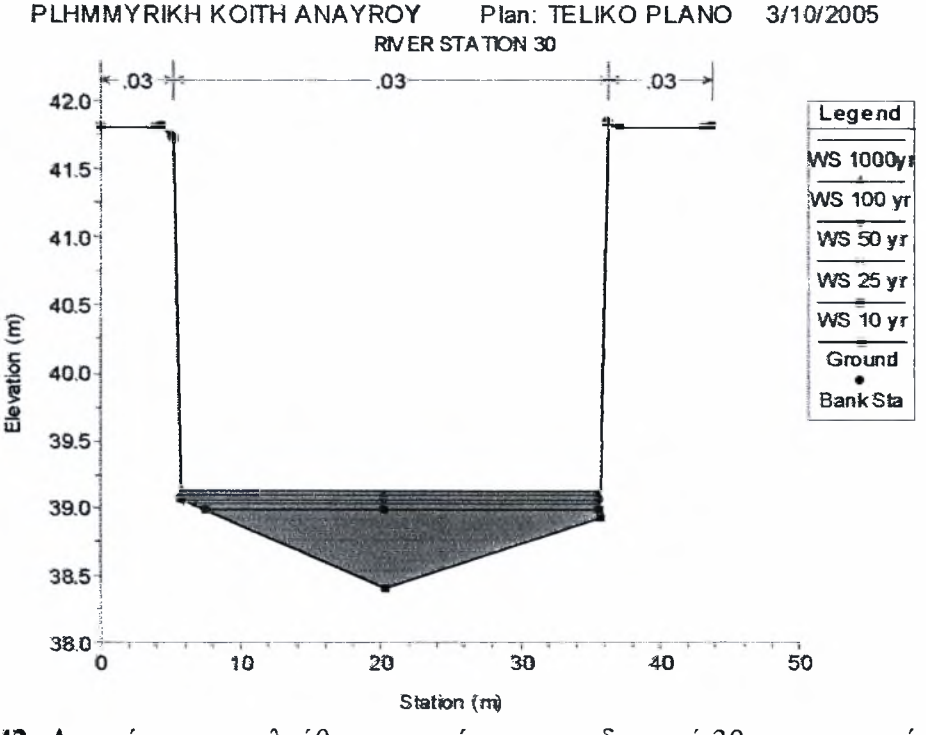

**Σχήμα 4.39:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 33 του ποταμού Αναύρου



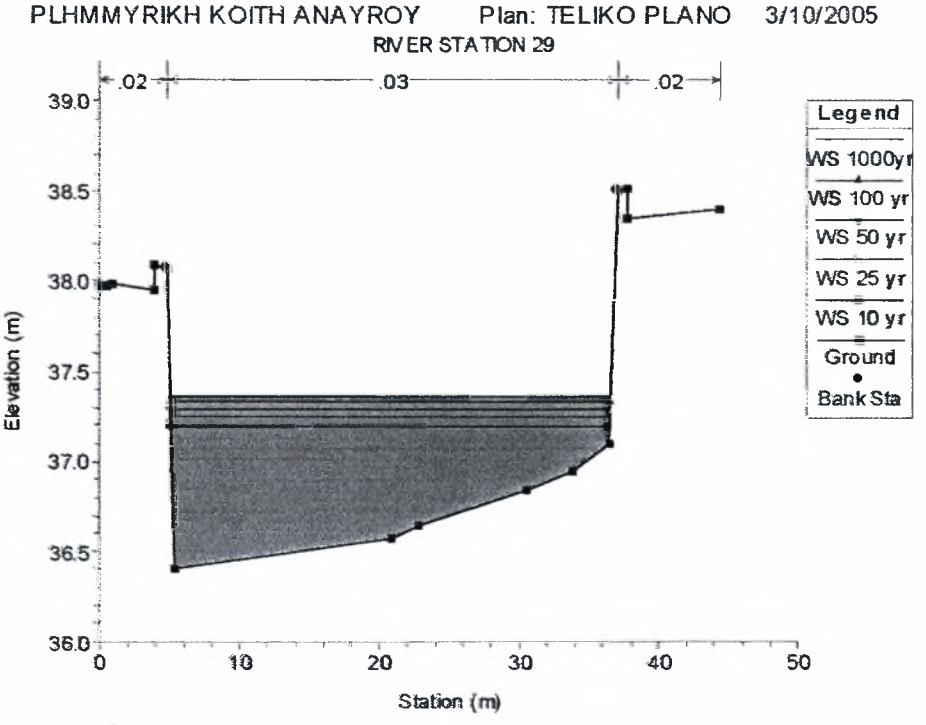

**Σχήμα 4.40:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 32 του ποταμού Αναύρου



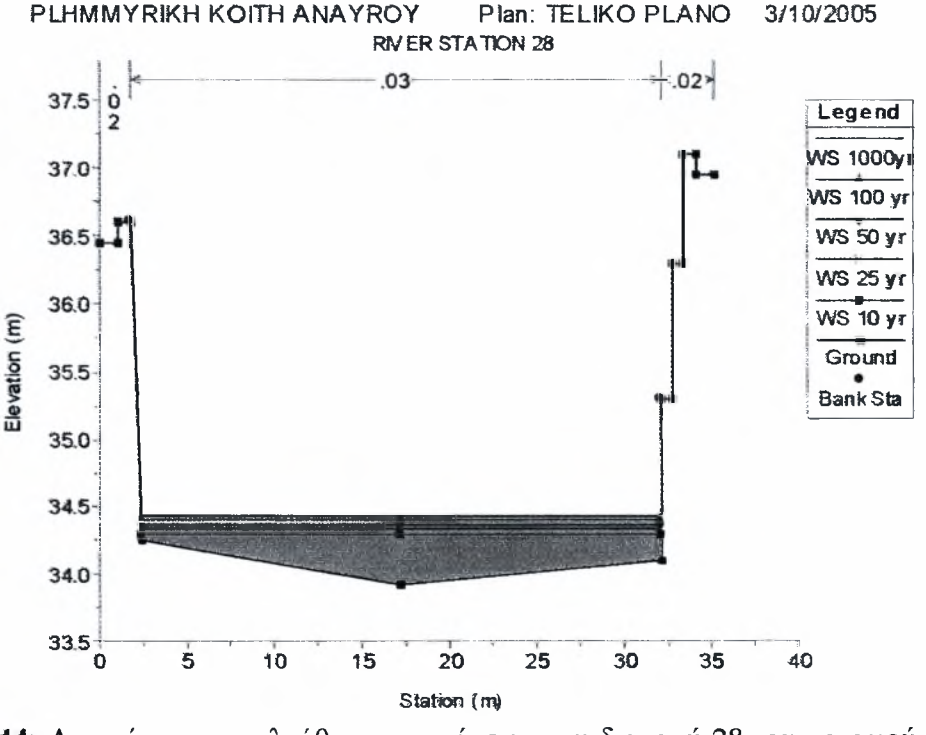

**Σχήμα 4.41:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 31 του ποταμού Αναύρου



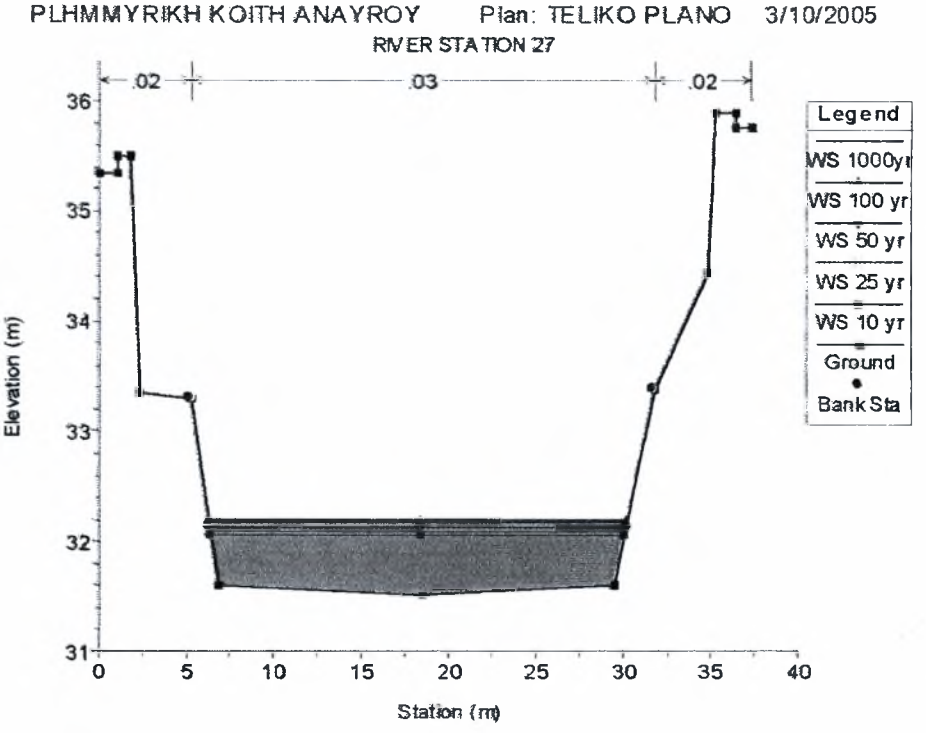

**Σχήμα 4.42:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 30 του ποταμού Αναύρου



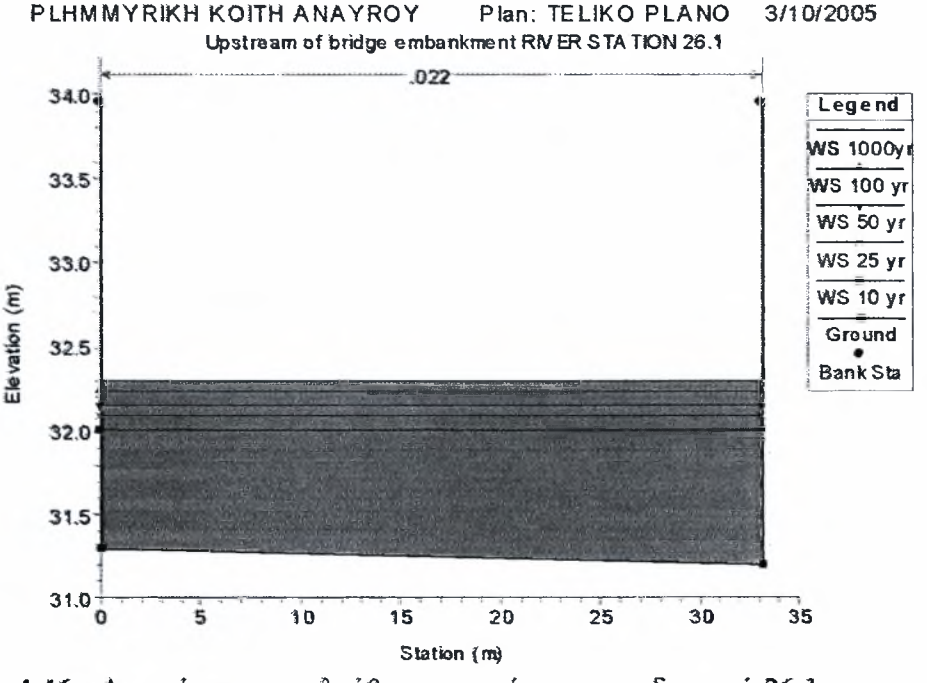

**Σχήμα 4.43:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 29 του ποταμού Αναύρου



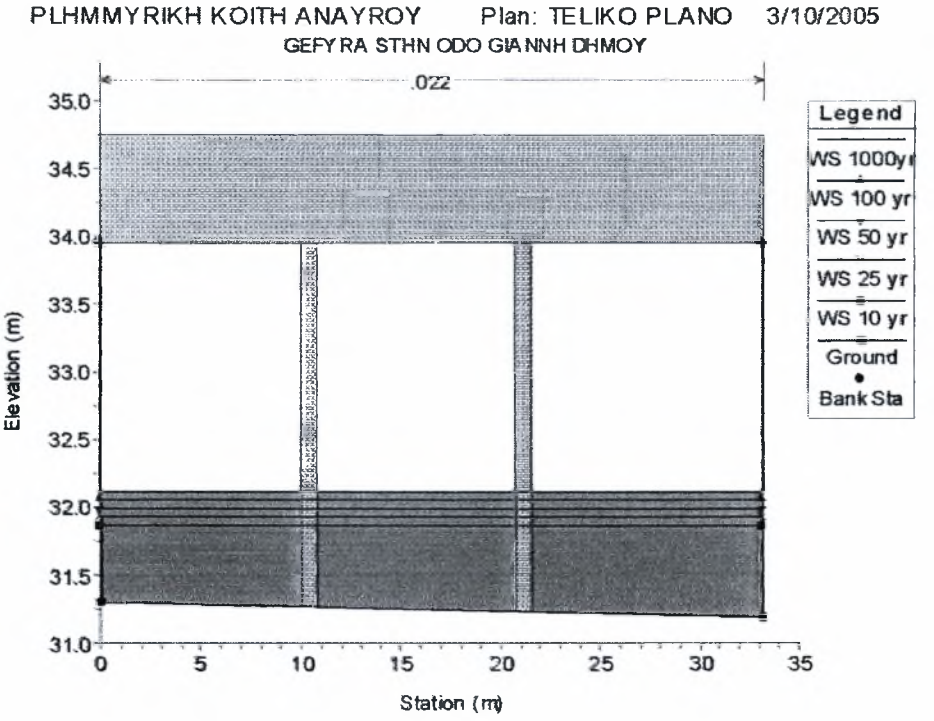

**Σχήμα 4.44:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 28 του ποταμού Αναύρου



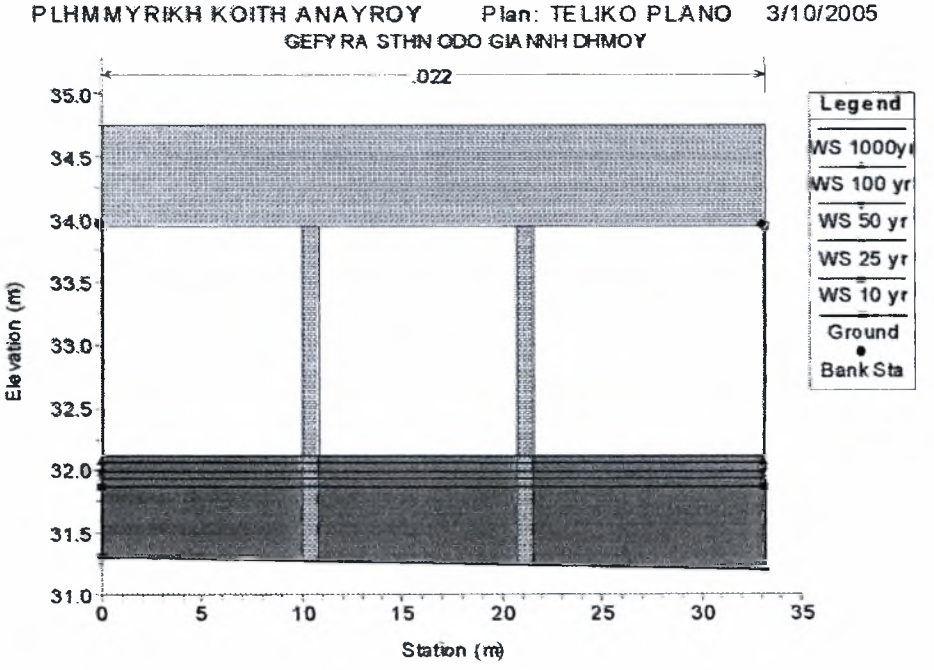

**Σχήμα 4.45:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 27 του ποταμού Αναύρου



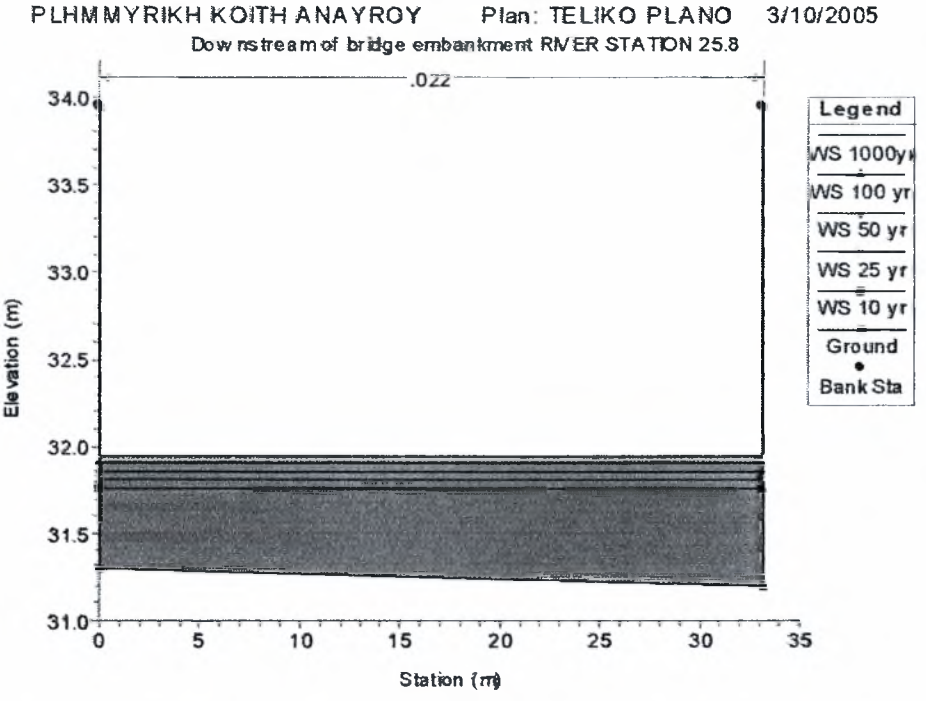

**Σχήμα 4.46:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 26.1 του ποταμού Αναύρου ανάντη της γέφυρας στην οδό Γιάννη Δήμου



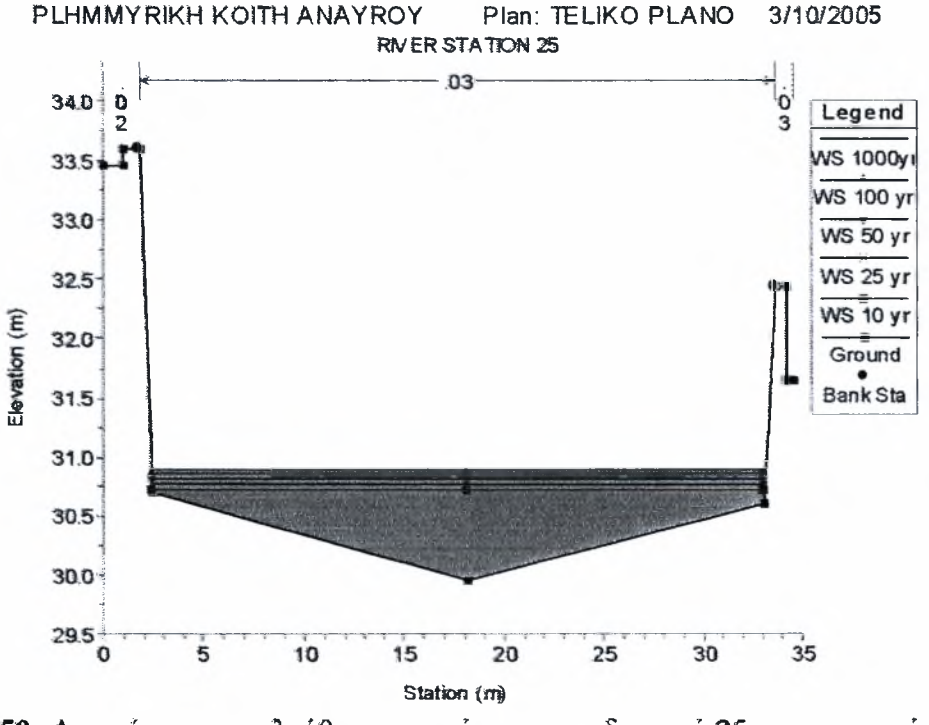

**Σχήμα 4.47:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας του ποταμού Αναύρου στη γέφυρα στην οδό Γιάννη Δήμου (πάνω όριο του καταστρώματος)



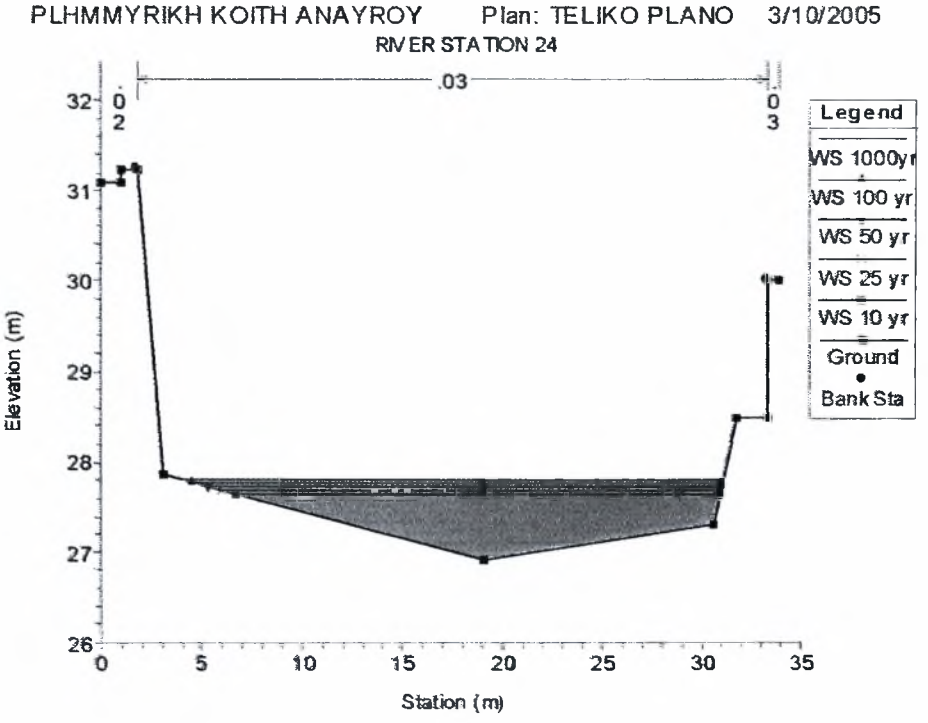

**Σχήμα 4.48:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας του ποταμού Αναύρου στη γέφυρα στην οδό Γιάννη Δήμου (κάτω όριο του καταστρώματος)



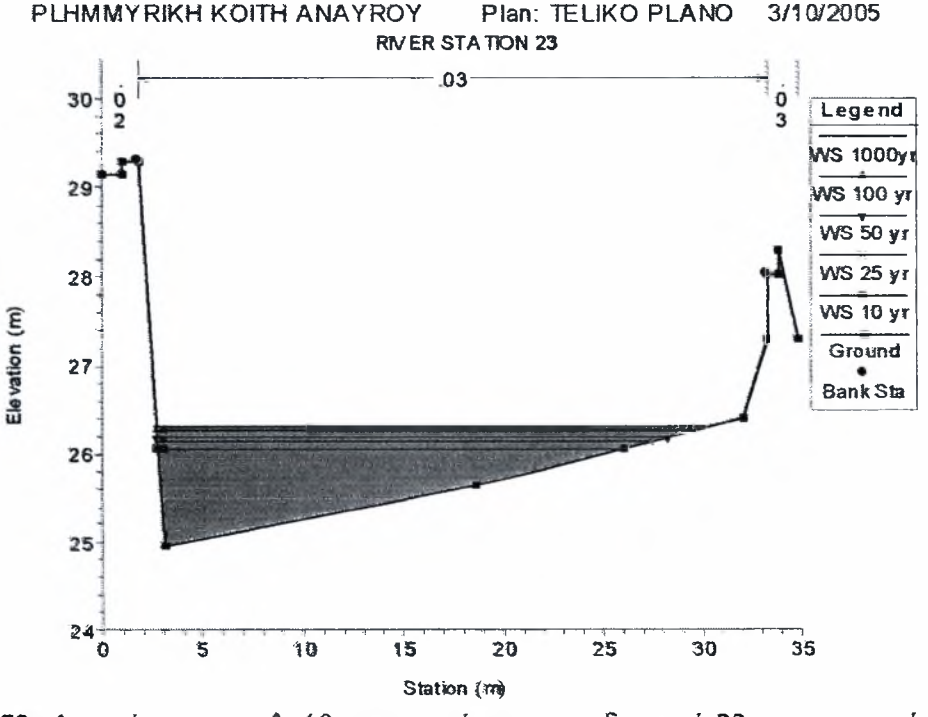

**Σχήμα 4.49:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 25.8 του ποταμού Αναύρου κατάντη της γέφυρας στην οδό Γιάννη Δήμου



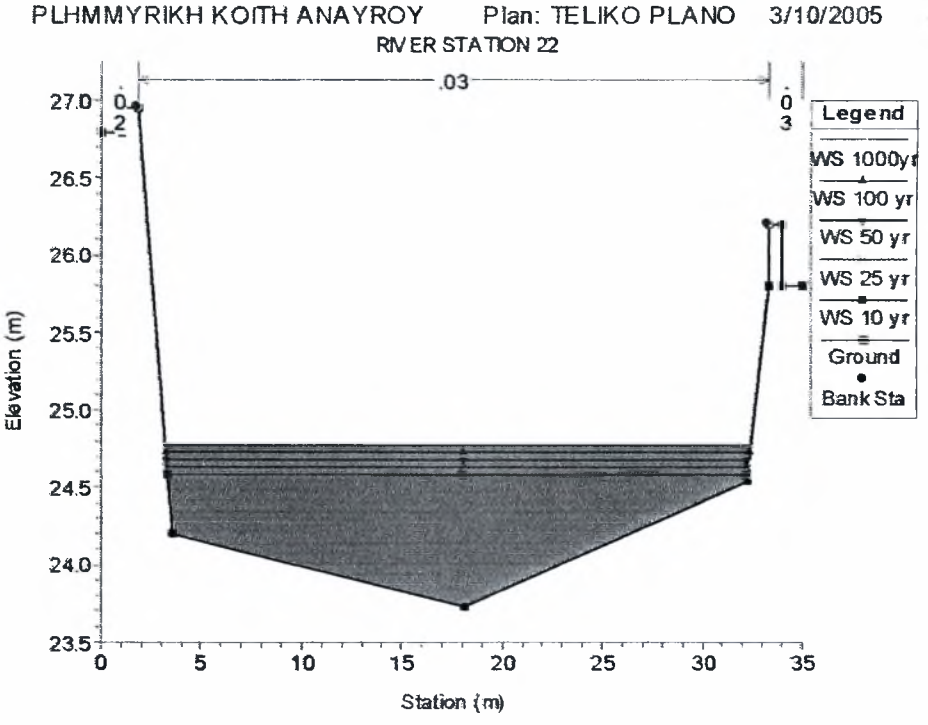

**Σχήμα 4.50:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 25 του ποταμού Αναύρου



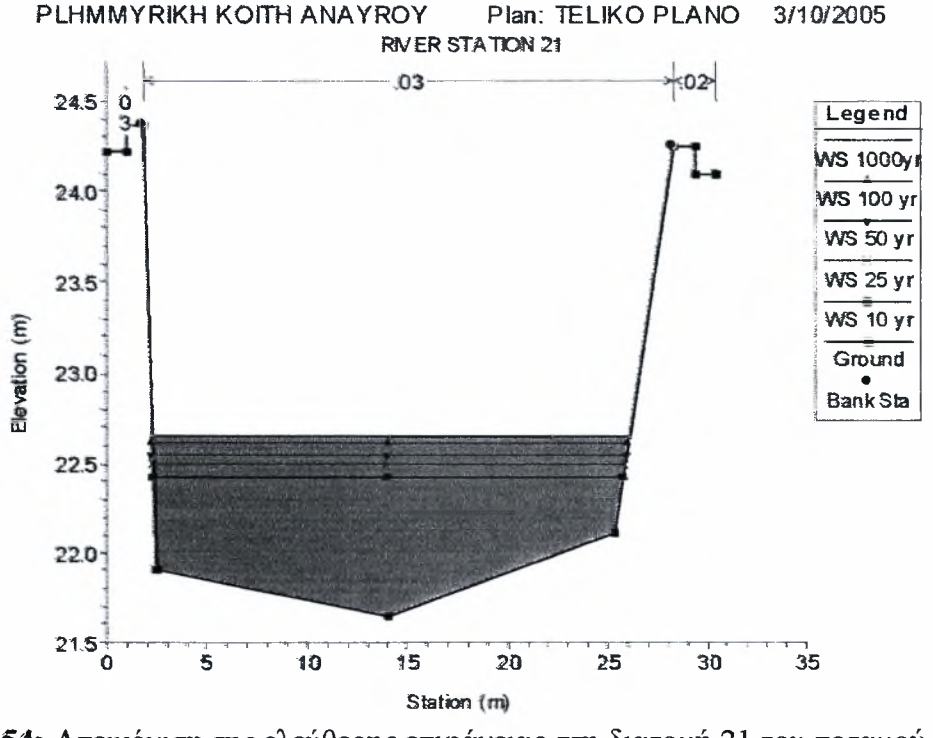

**Σχήμα 4.51:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 24 του ποταμού Αναύρου



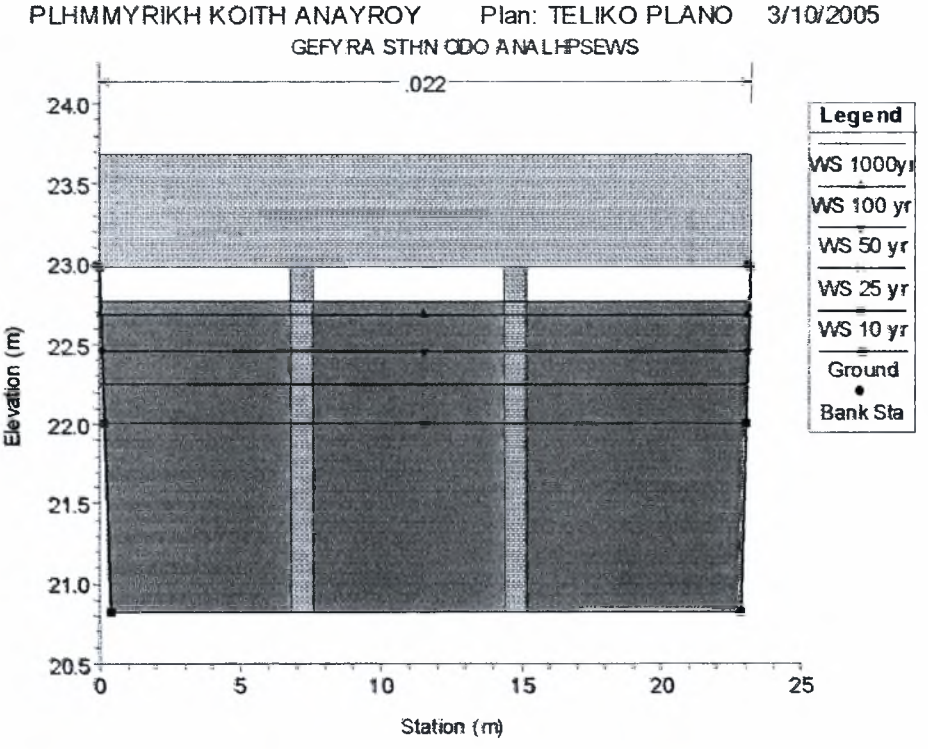

**Σχήμα 4.52:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 23 του ποταμού Αναύρου



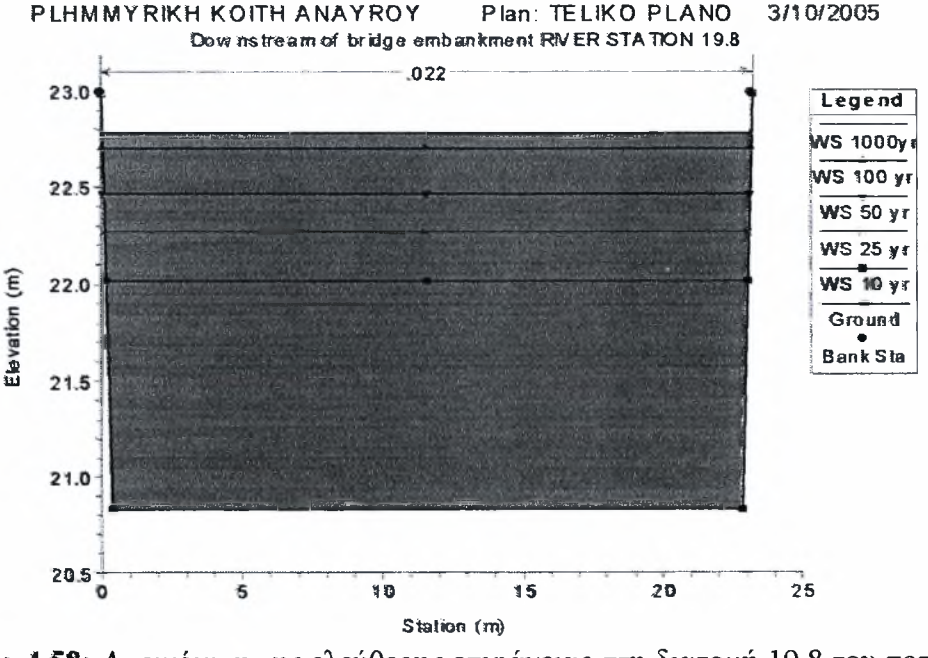

**Σχήμα 4.53:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 22 του ποταμού Αναύρου



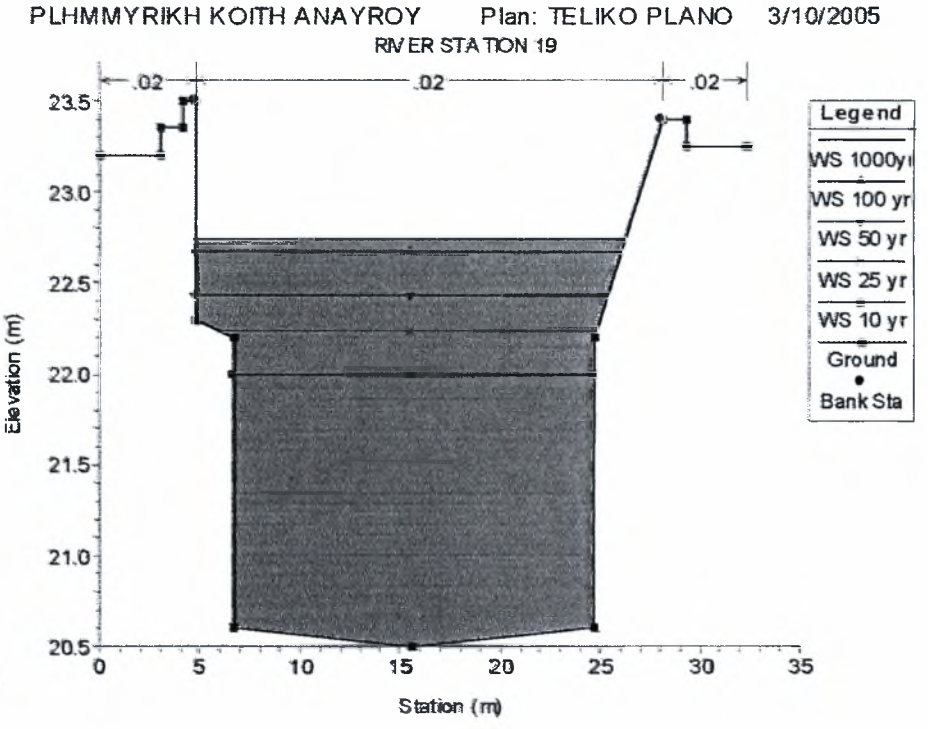

**Σχήμα 4.54:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 21 του ποταμού Αναύρου



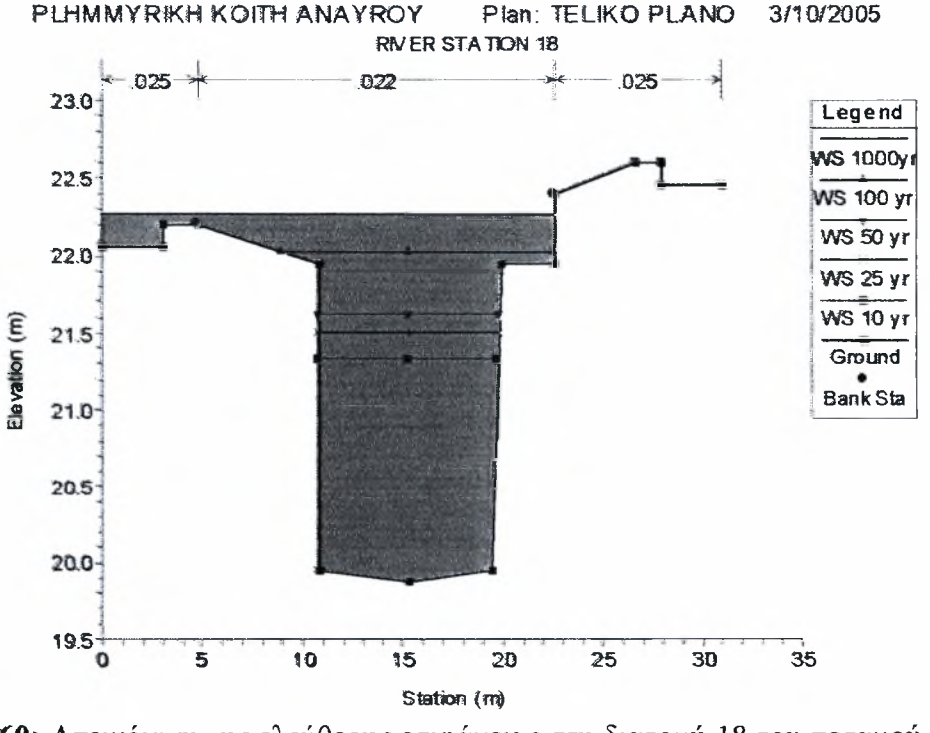

**Σχήμα 4.57:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας του ποταμού Αναύρου στη γέφυρα στην οδό Αναλήψεως (κάτω όριο του καταστρώματος)



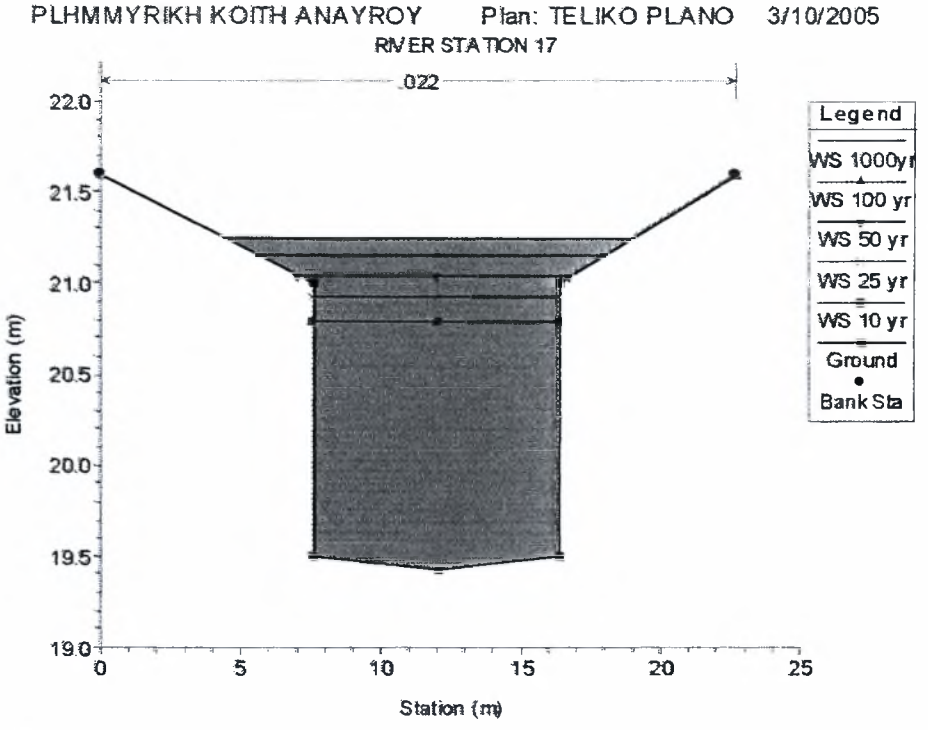

**Σχήμα 4.58:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 19.8 του ποταμού Αναύρου κατάντη της γέφυρας στην οδό Αναλήψεως



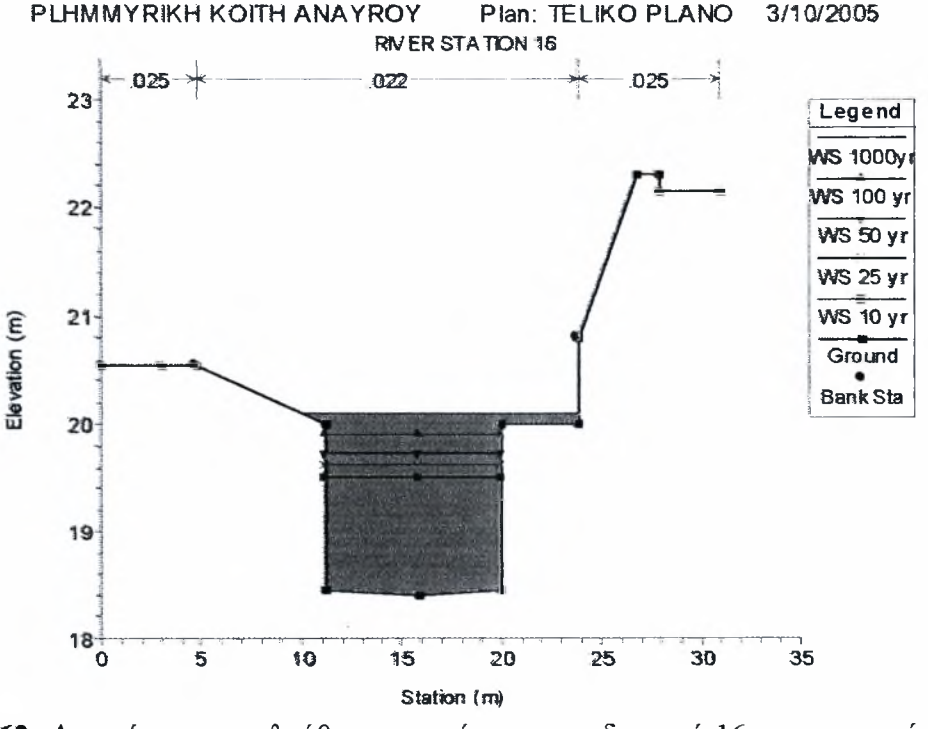

**Σχήμα 4.59:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 19 του ποταμού Αναύρου



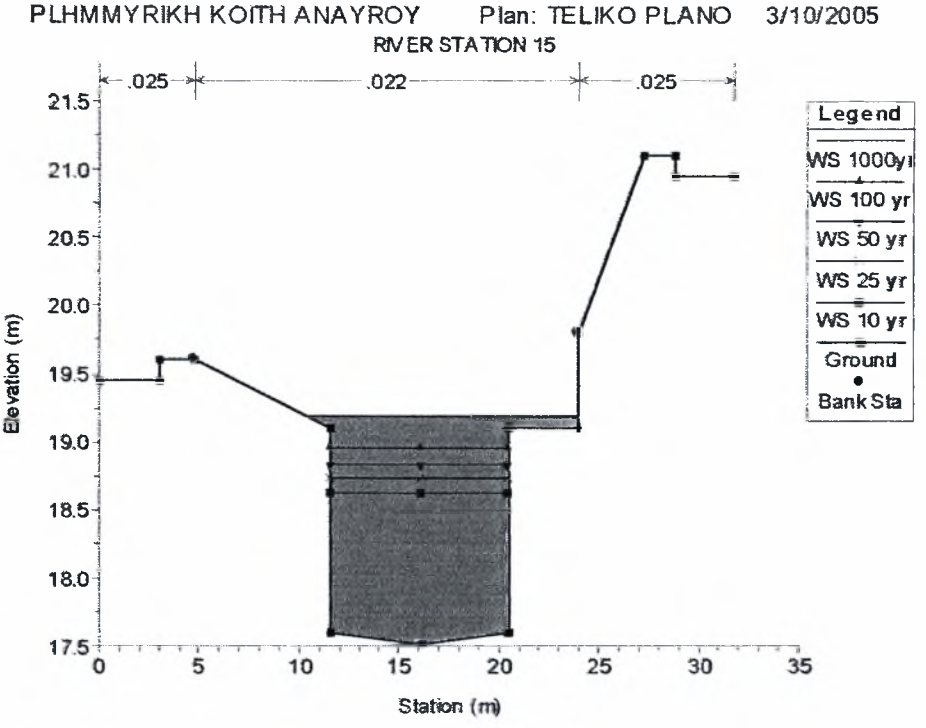

**Σχήμα 4.60:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 18 του ποταμού Αναύρου



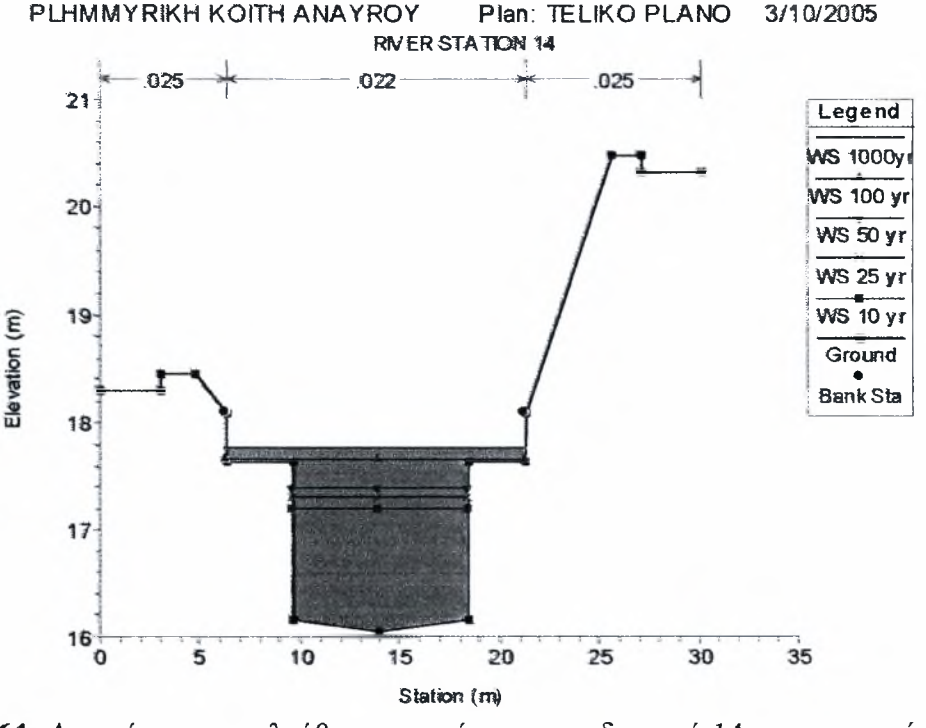

**Σχήμα 4.61:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 17 του ποταμού Αναύρου



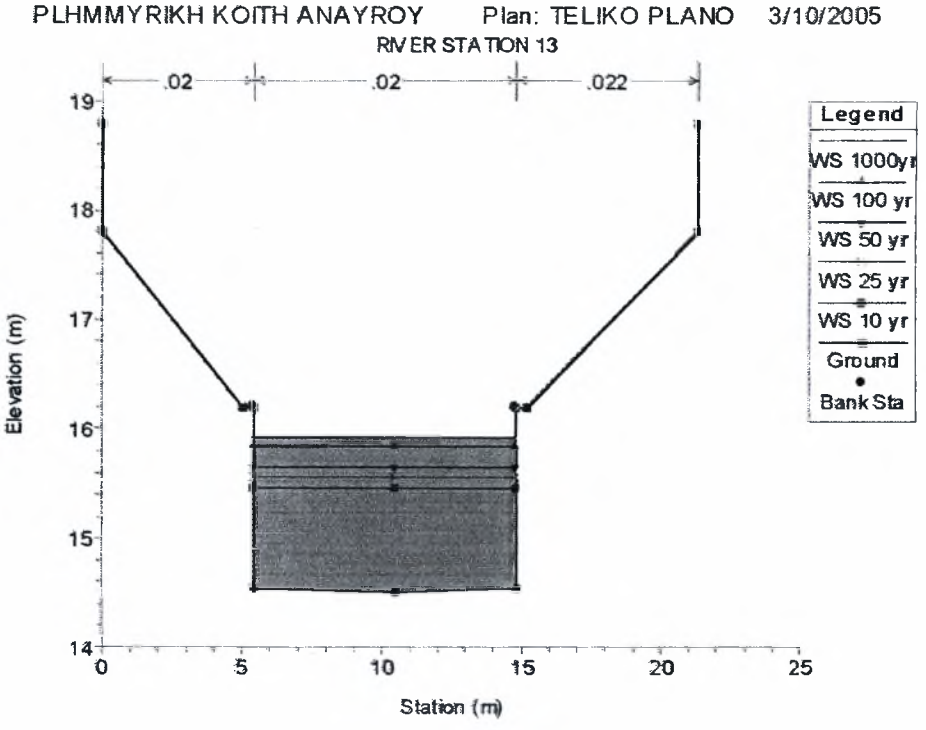

**Σχήμα 4.62:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 16 του ποταμού Αναύρου



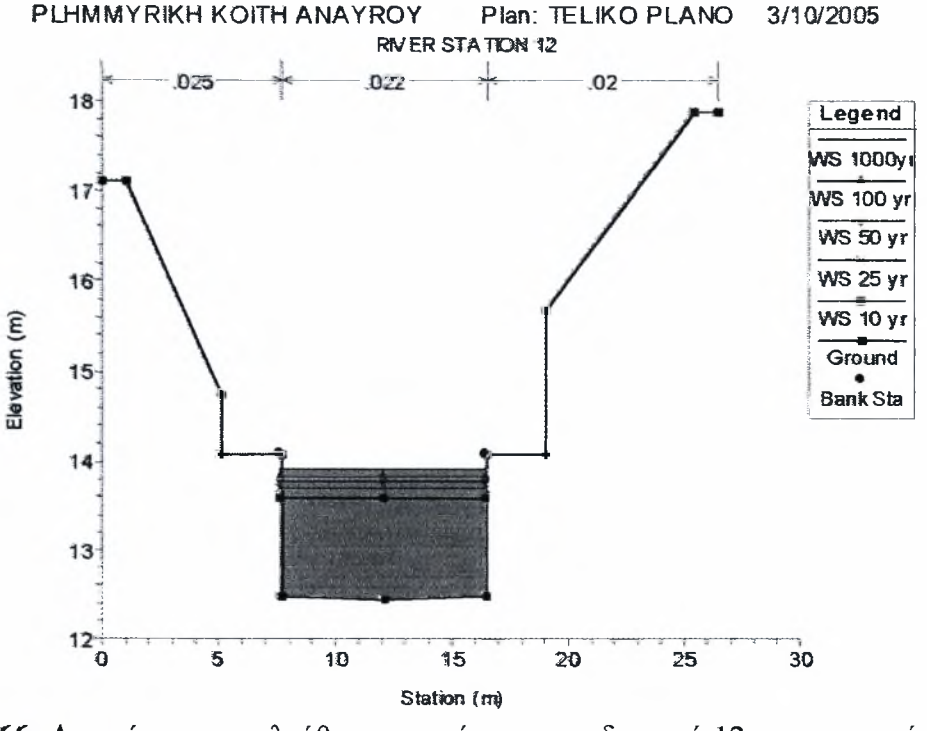

**Σχήμα 4.63:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 15 του ποταμού Αναύρου



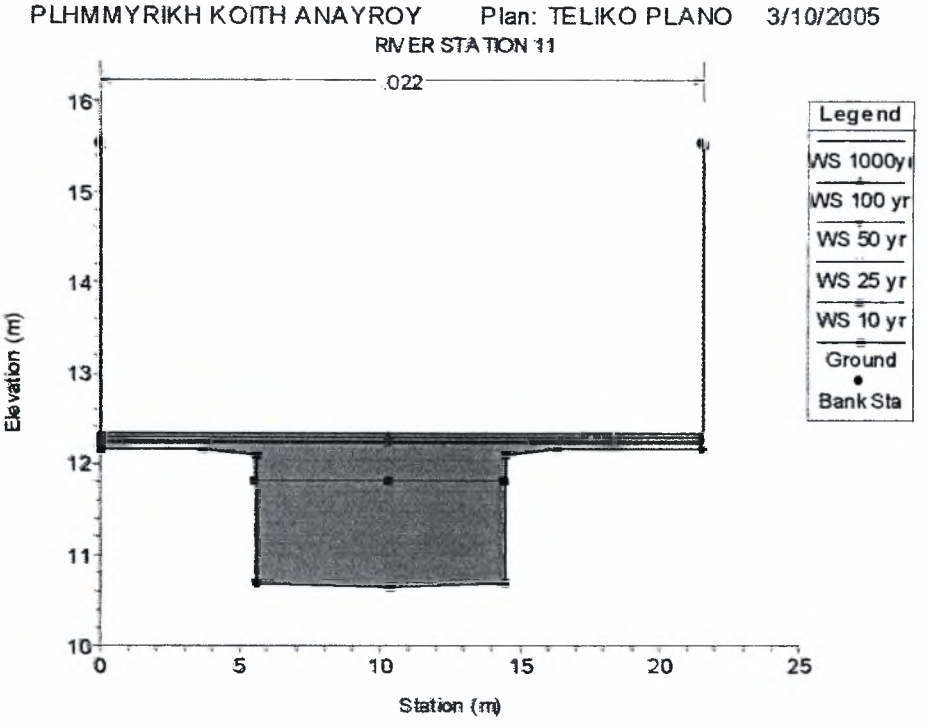

**Σχήμα 4.64:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 14 του ποταμού Αναύρου



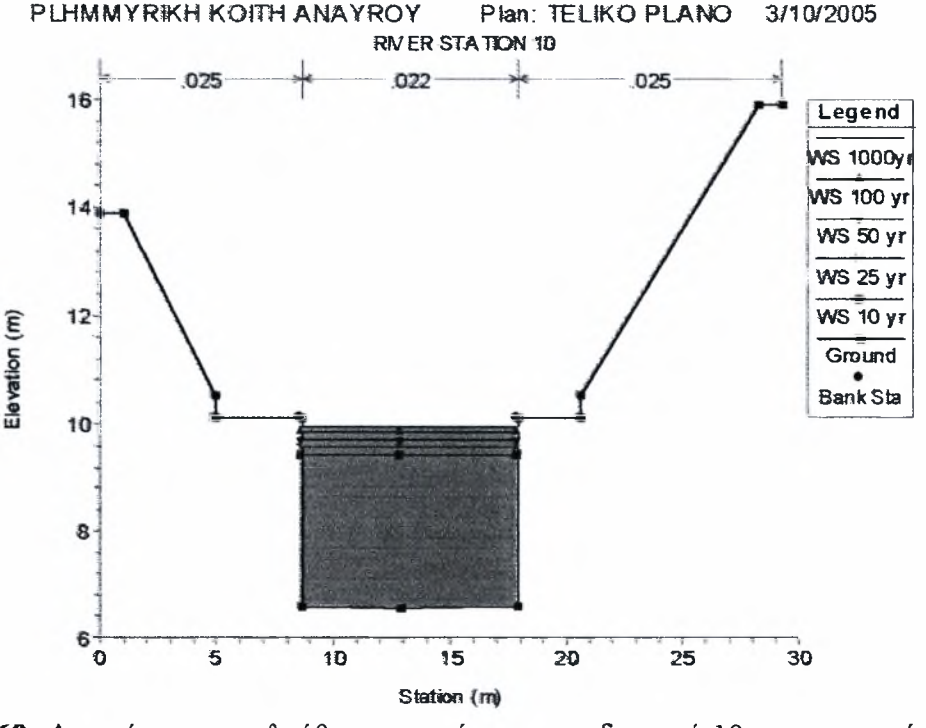

**Σχήμα 4.65:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 13 του ποταμού Αναύρου



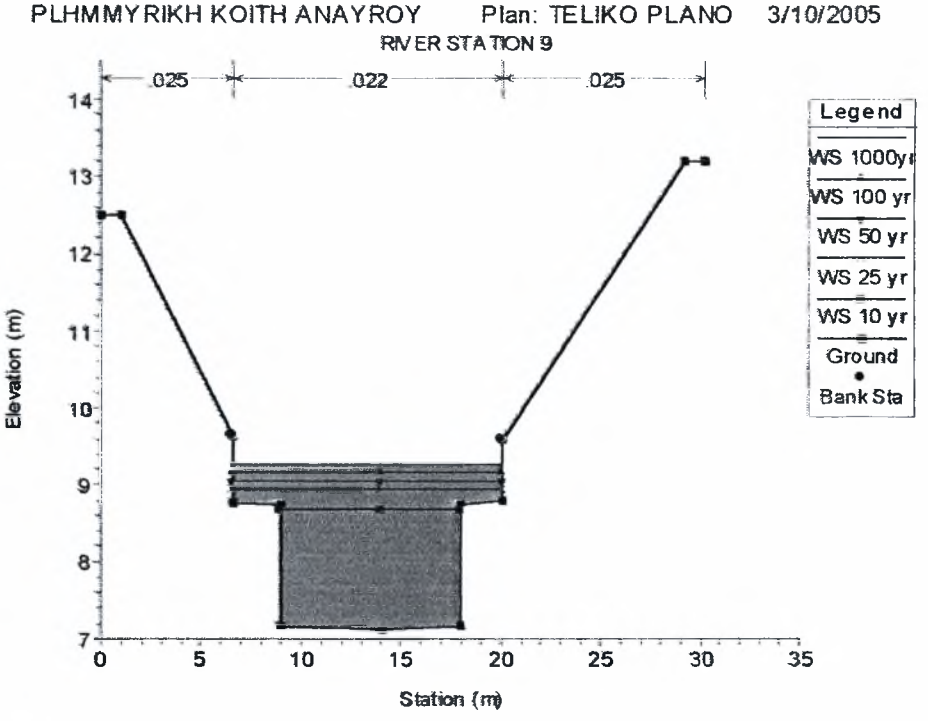

**Σχήμα 4.66:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 12 του ποταμού Αναύρου



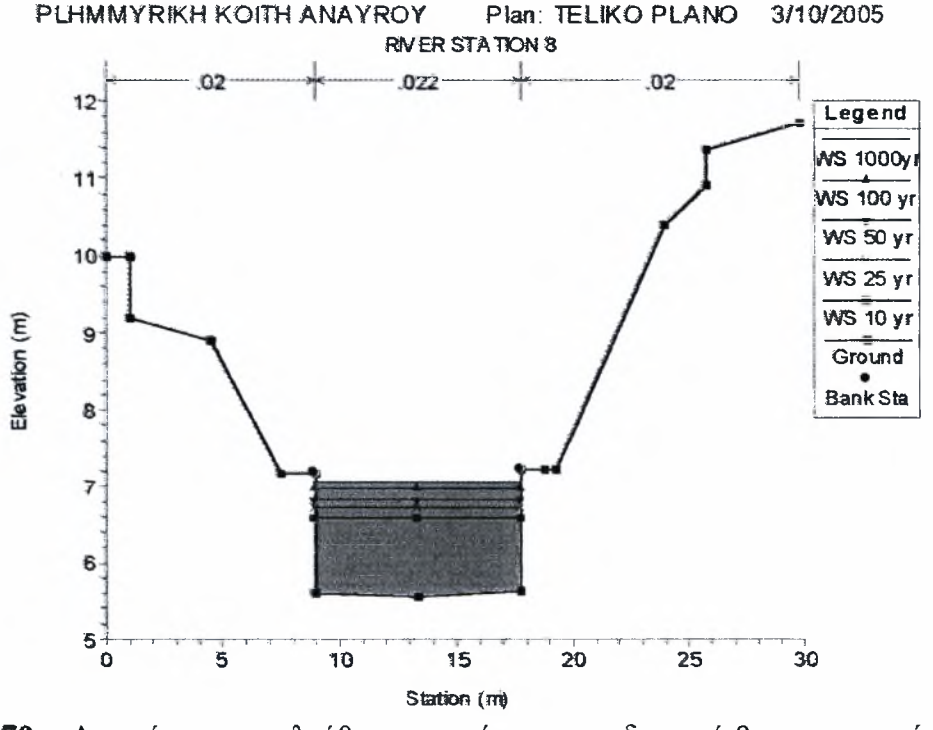

**Σχήμα 4.67:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 11 του ποταμού Αναύρου



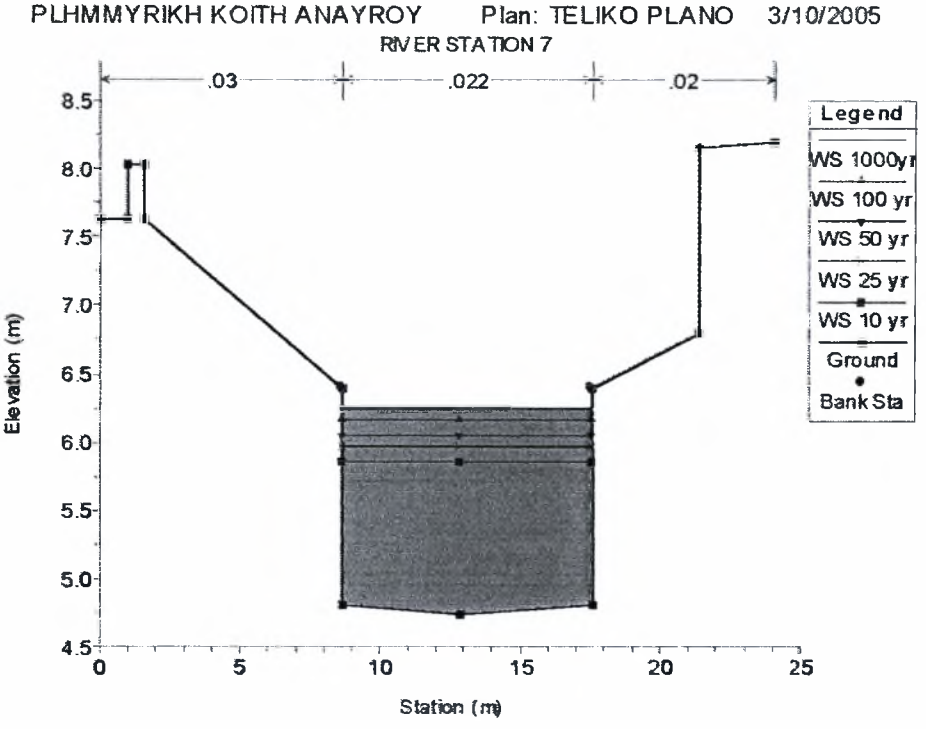

**Σχήμα 4.68:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 10 του ποταμού Αναύρου



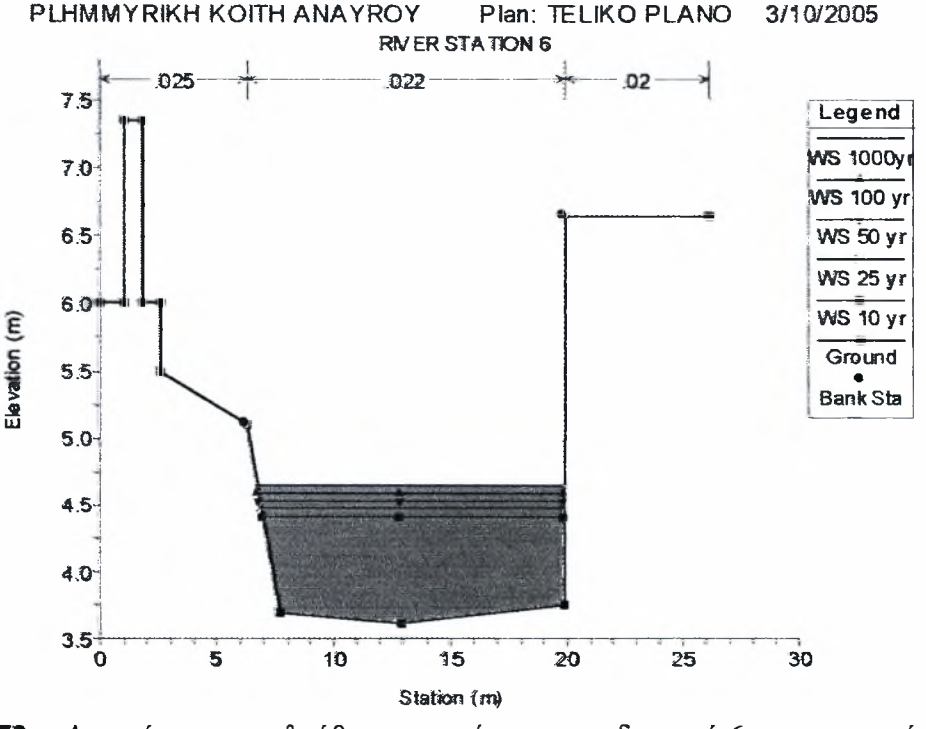

**Σχήμα 4.69:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 9 του ποταμού Αναύρου



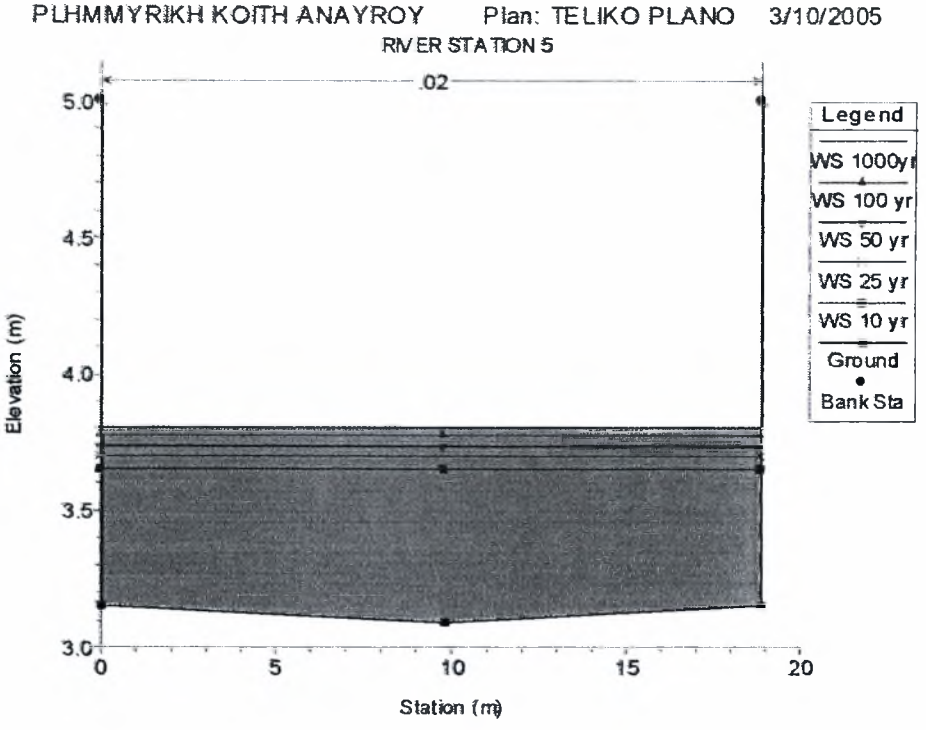

**Σχήμα 4.70:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 8 του ποταμού Αναύρου



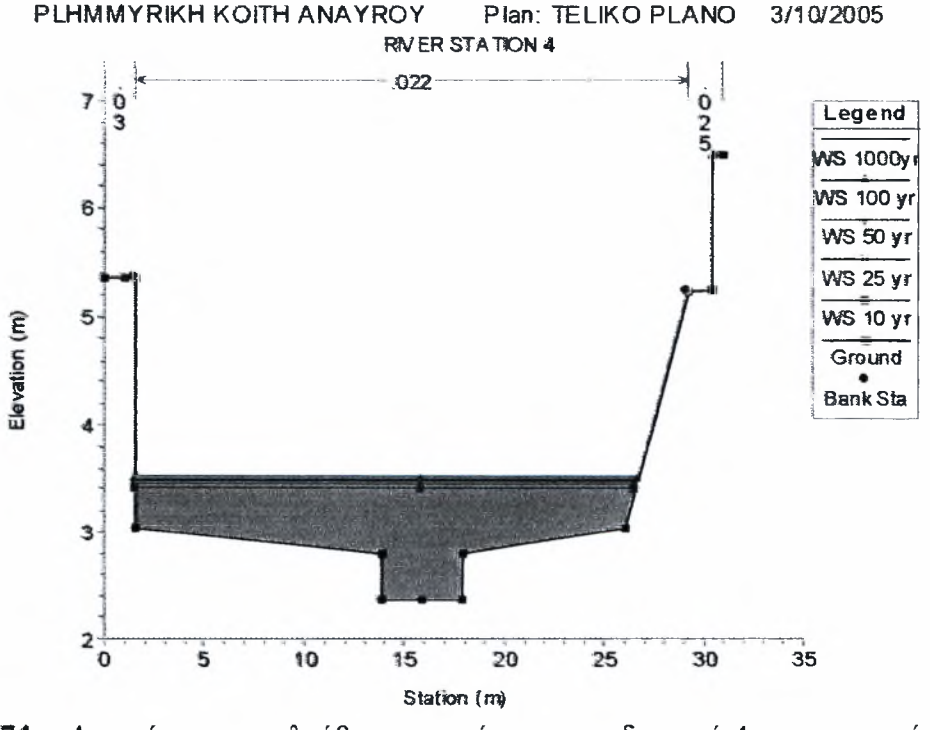

**Σχήμα 4.71:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 7 του ποταμού Αναύρου



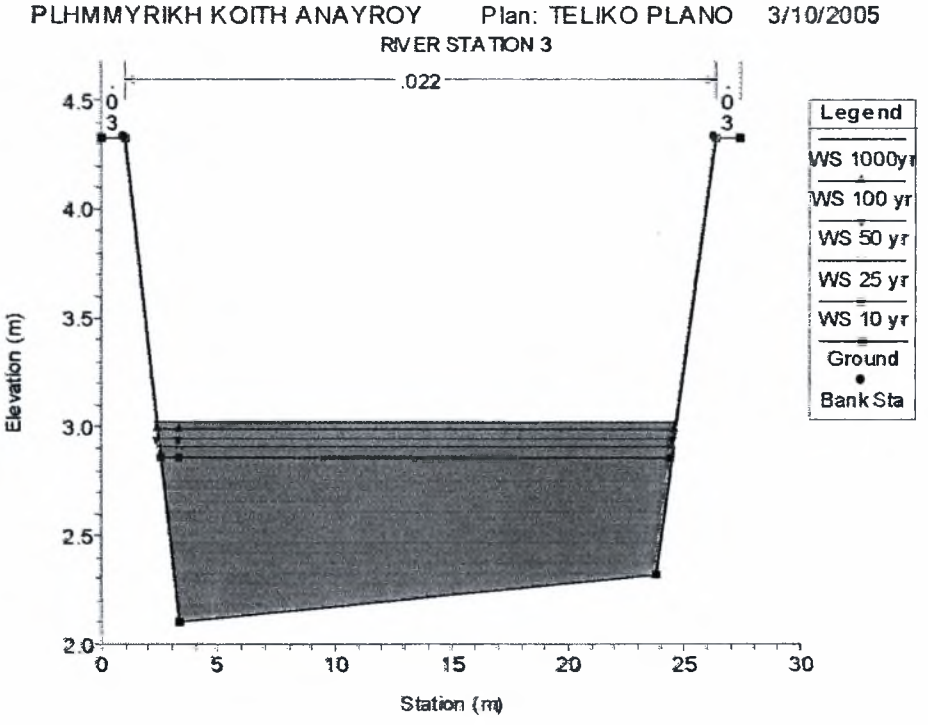

**Σχήμα 4.72:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 6 του ποταμού Αναύρου



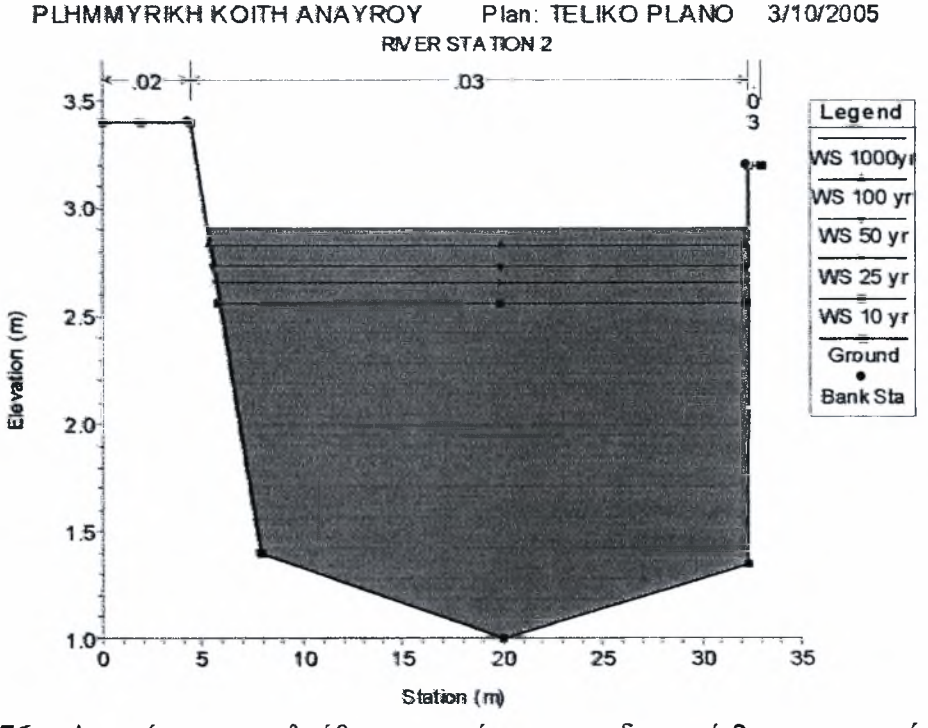

**Σχήμα 4.73:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 5 του ποταμού Αναύρου



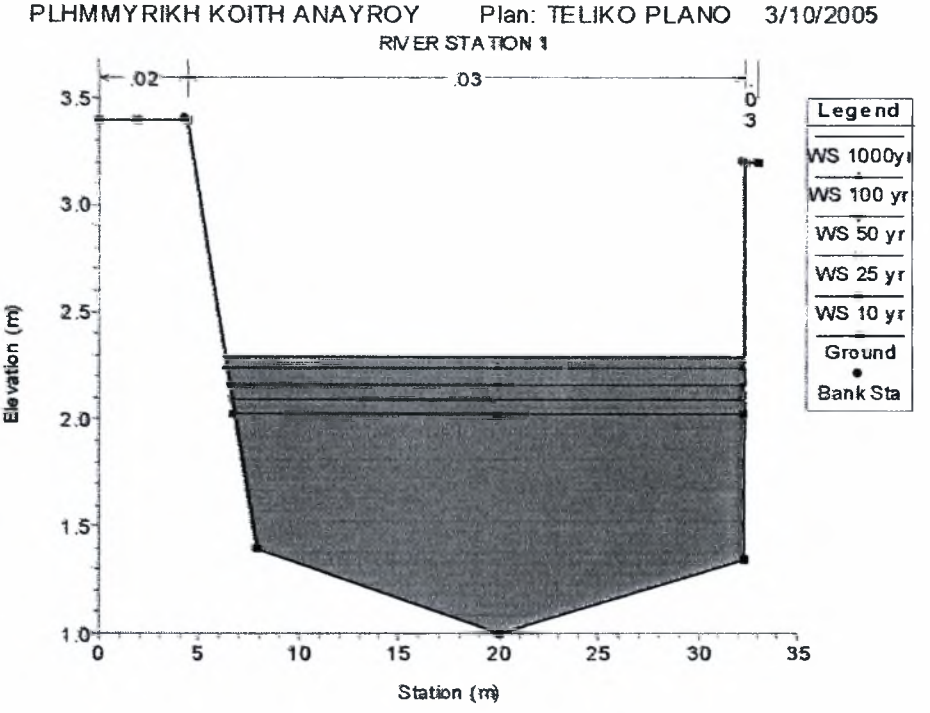

**Σχήμα 4.74:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 4 του ποταμού Αναύρου




**Σχήμα 4.75:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 3 του ποταμού Αναύρου




**Σχήμα 4.76:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 2 του ποταμού Αναύρου




**Σχήμα 4.77:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 1 του ποταμού Αναύρου

Παρατηρώντας τα προαναφερθέντα σχήματα απεικόνισης της ελεύθερης ροής των υπό μελέτη διατομών, διαπιστώνουμε ότι η διατομή 18 παρουσιάζει πρόβλημα, δηλαδή πλημμυρίζει από την αριστερή όχθη. Θα πρέπει, όμως, να σημειωθεί ότι η αδυναμία στην διοχετευτική ικανότητα της κύριας κοίτης του υδατορεύματος συμβαίνει στην μέγιστη πλημμυρική παροχή με περίοδο επαναφοράς 1000 ετών. Σύμφωνα με τους τρόπους αντιμετώπισης των πλημμύρων που έχουν αναφερθεί στο 1ο κεφάλαιο γίνεται η διαμόρφωση της κοίτης στη διατομή 18 που παρουσιάστηκε το πρόβλημα.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που έχουν προκύψει από την προσομοίωση της ελεύθερης ροής του υδατορεύματος με το υδραυλικό πρόγραμμα HEC-RAS συνοψίζονται στους συγκεντρωτικούς πίνακες που αποτελούν τμήματα αρχείων αποτελεσμάτων όπως εξάγονται από το υδραυλικό πρόγραμμα (Παράρτημα Β) καθώς και στα σχήματα 4.78 έως 4.81 που ακολουθούν.

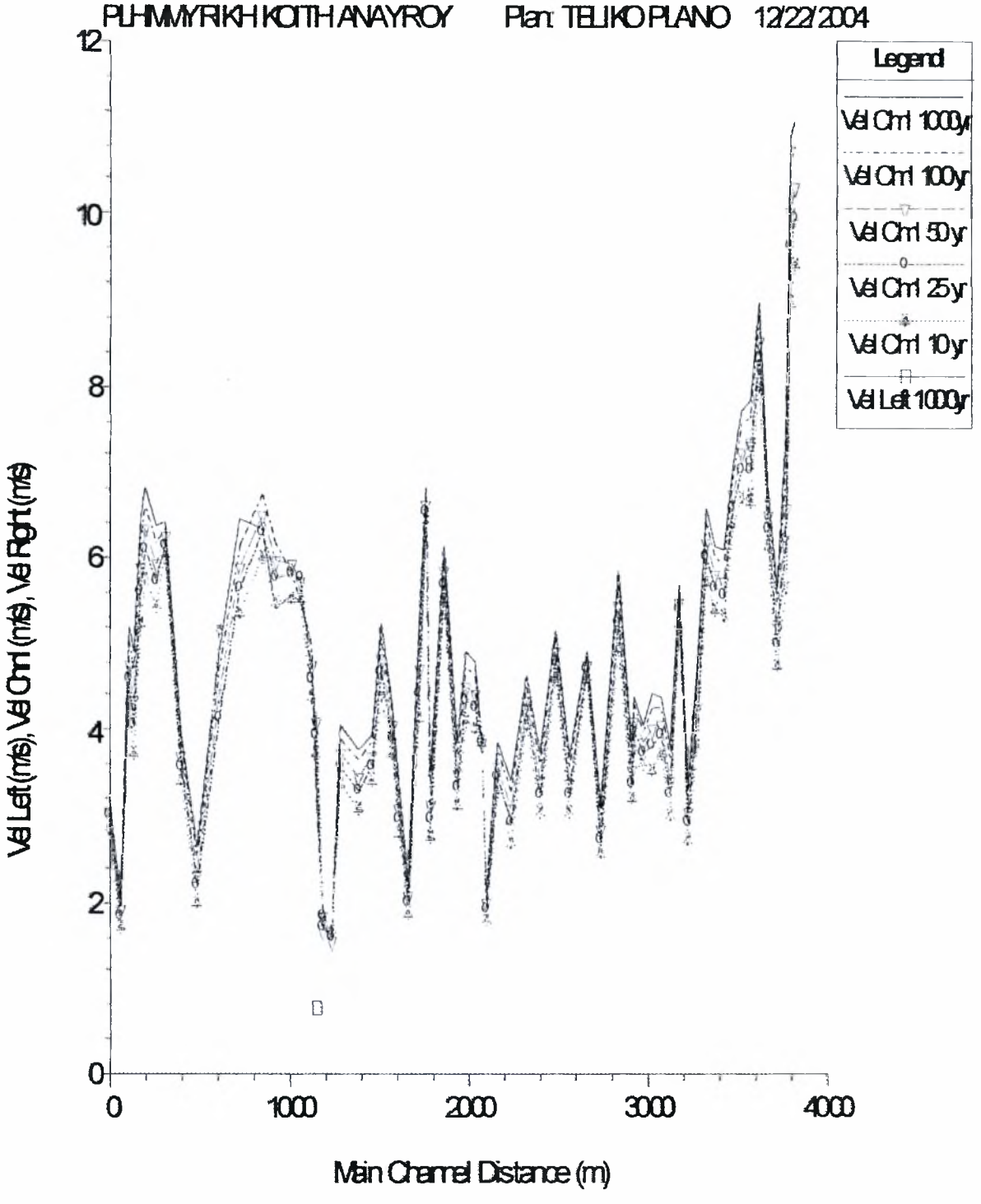
Στο σχήμα 4.78 παρουσιάζεται η ταχύτητα συναρτήσει του μήκους του υπό μελέτη τμήματος του ποταμού Αναύρου, για όλες τις περιόδους επαναφοράς. Ενδεικτικά,

αναφέρονται οι τιμές της ταχύτητας για μέγιστη πλημμυρική παροχή με περίοδο επαναφοράς 1000 ετών, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 2.04 m/sec (Διατομή 2), (Χ.Θ +65 m) και 11.07 m/sec (Διατομή 65), (Χ.Θ +3820.37 m). Η μεγάλη τιμή της ταχύτητας εμφανίζεται στο ορεινότερο τμήμα του ποταμού Αναύρου, ενώ όσο κατεβαίνουμε προς την πεδινή περιοχή η τιμή της ταχύτητας μειώνεται.

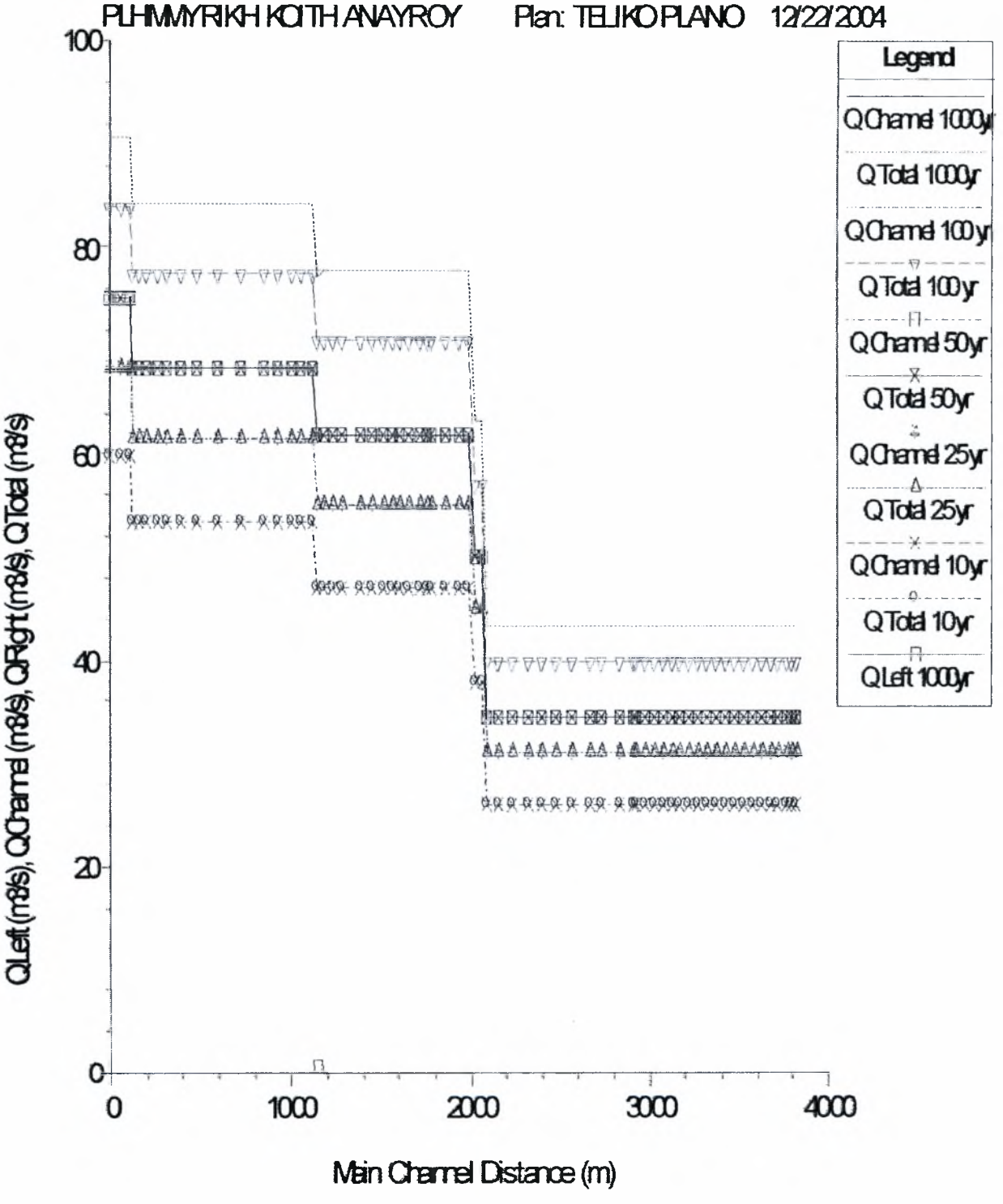
Στο σχήμα 4.79 παρουσιάζεται η μέγιστη πλημμυρική παροχή συναρτήσει του μήκους του υπό μελέτη τμήματος του ποταμού Αναύρου, για όλες τις περιόδους επαναφοράς. Η τιμή της παροχής αιχμής κυμαίνεται από 43.28 $m^3$/sec (Διατομή 65), (Χ.Θ +3820.37 m) περίπου έως 89.37 $m^3$/sec (Διατομή 1), (Χ.Θ +0 m), για περίοδο επαναφοράς 1000 ετών. Όπως ήταν αναμενόμενο, η παροχή αυξάνεται κατά μήκος του ποταμού Αναύρου.

Στο σχήμα 4.80 παρουσιάζεται το εμβαδόν της υγρής διατομής συναρτήσει του μήκους του υπό μελέτη τμήματος του ποταμού Αναύρου, για όλες τις περιόδους επαναφοράς. Το εμβαδόν της υγρής διατομής, το οποίο εμφανίζει τιμές μεταξύ 3.69 $m^2$ (Διατομή 65), (Χ.Θ +3820.37 m) και 45.22 $m^2$ (Διατομή 20.1), (Χ.Θ +1233.37 m) για περίοδο επαναφοράς 1000 ετών, αυξάνεται όσο πλησιάζουμε προς τις εκβολές του υδατορεύματος.

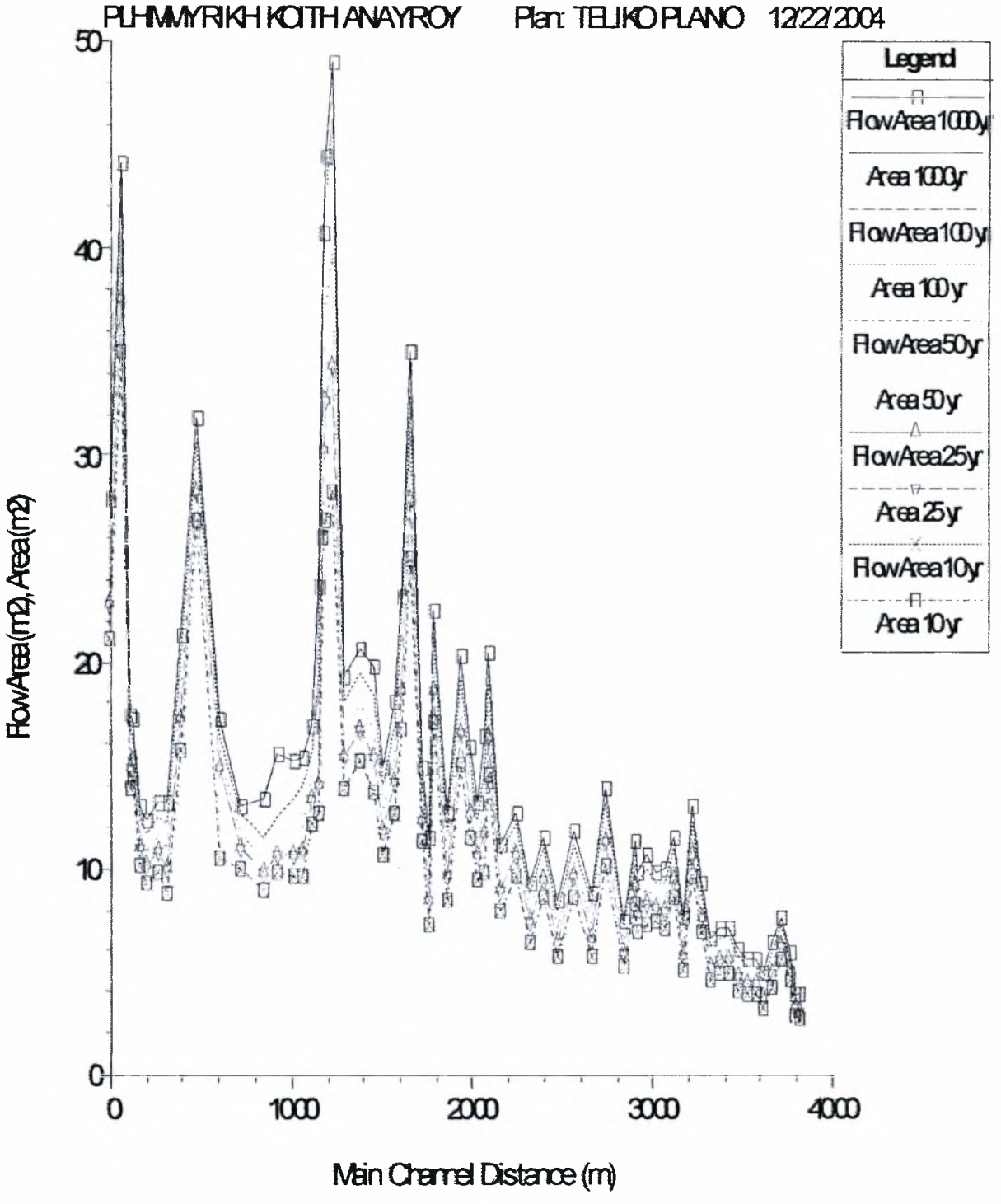
Τέλος, στο σχήμα 4.81 παρουσιάζεται ο αριθμός Froude συναρτήσει του μήκους του υπό μελέτη τμήματος του ποταμού Αναύρου, για όλες τις περιόδους επαναφοράς. Ο αριθμός Froude έχει τιμές από 0.37 (Διατομή 10), (Χ.Θ +483.07 m) έως 5.24 (Διατομή 64), (Χ.Θ +3801.70 m), για παροχή αιχμής με περίοδο επαναφοράς 1000 ετών. Η ροή είναι υπερκρίσιμη ανάντη του μελετούμενου τμήματος του υδατορεύματος και υποκρίσιμη κατάντη του ποταμού Αναύρου, γεγονός που υποδεικνύει πως το φυσικό αυτό υδατόρευμα αποτελεί ένα φυσικό χείμαρρο.



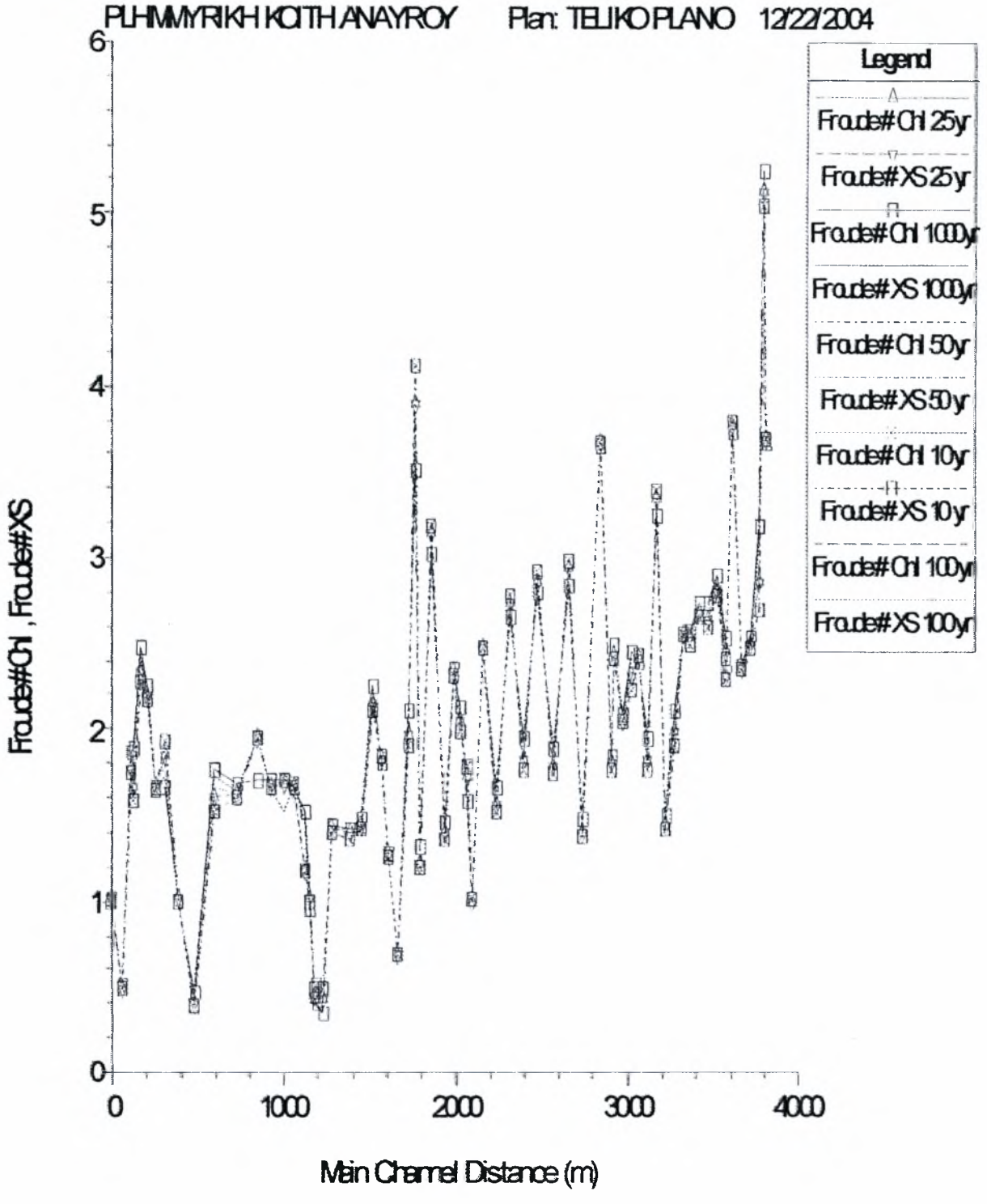

**Σχήμα 4.78:** Διάγραμμα της ταχύτητας της ροής συναρτήσει του μήκους του υδατορεύματος.




**Σχήμα 4.79:** Διάγραμμα της παροχής συναρτήσει του μήκους του υδατορεύματος.



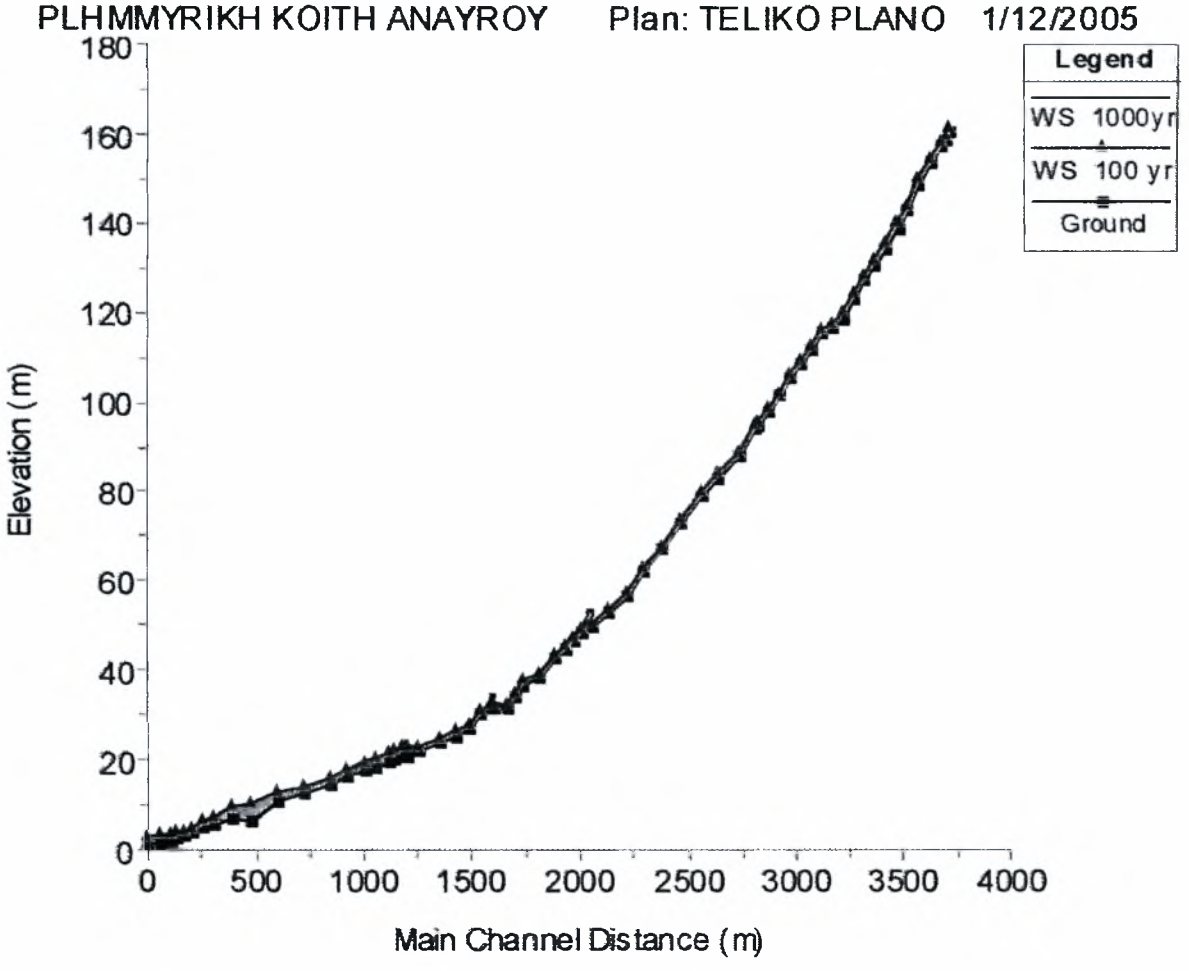

**Σχήμα 4.80:** Διάγραμμα του εμβαδού της υδάτινης επιφάνειας συναρτήσει του μήκους του υδατορεύματος.




**Σχήμα 4.81:** Διάγραμμα του αριθμού Froude συναρτήσει του μήκους του υδατορεύματος.

Για καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από το υπολογιστικό πρόγραμμα HEC-RAS παρατίθενται τα σχήματα 4.82 έως 4.87 για τις παροχές αιχμής με περιόδους επαναφοράς 100 και 1000 ετών.

Στο σχήμα 4.82 παρουσιάζεται η ελεύθερη επιφάνεια κατά μήκος του εξεταζόμενου τμήματος του ποταμού Αναύρου, για μέγιστες πλημμυρικές παροχές με περιόδους επαναφοράς 100 και 1000 ετών.




**Σχήμα 4.82:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας κατά μήκος του κυρίως υδατορεύματος για παροχές αιχμής με περιόδους επαναφοράς 100 και 1000 ετών.

Στο σχήμα 4.83 παρουσιάζεται η τρισδιάστατη απεικόνιση της ελεύθερης ροής του υπό μελέτη τμήματος του ποταμού Αναύρου, για μέγιστες πλημμυρικές παροχές με περιόδους επαναφοράς 100 και 1000 ετών.


**Σχήμα 4.83:** Τρισδιάστατη απεικόνιση της ελέυθερης επιφάνειας του κυρίως υδατορεύματος για παροχές αιχμής με περιόδους επαναφοράς 100 και 1000 ετών.

Στα σχήματα 4.84 έως 4.87, στα οποία απεικονίζονται η ταχύτητα, η παροχή, το εμβαδόν της υγρής διατομής και ο αριθμός Froude συναρτήσει του μήκους του υδατορεύματος, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των περιόδων επαναφοράς 100 και 1000 ετών σε χαρακτηριστικές διατομές, οι οποίες είναι οι εξής:

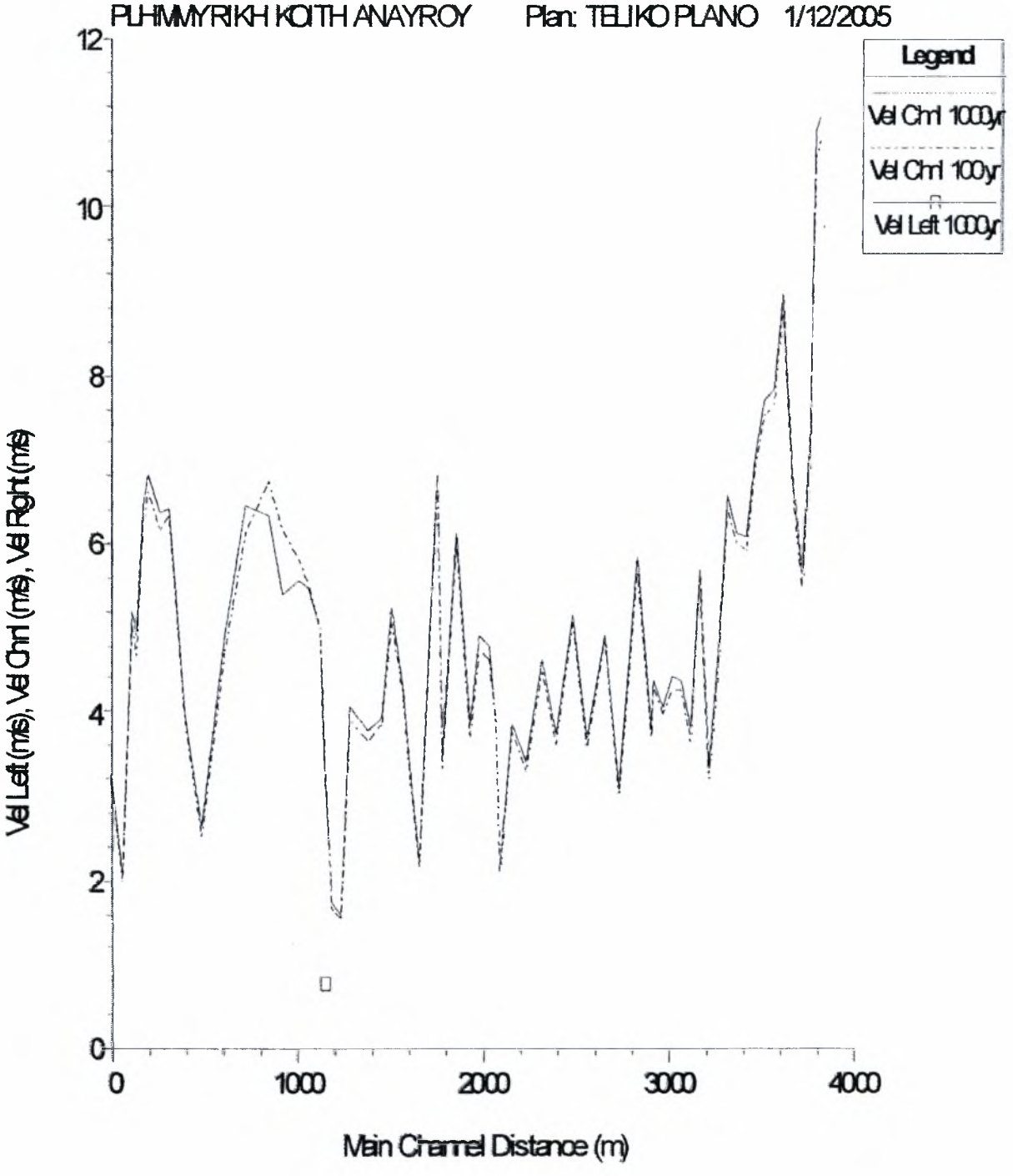
- Διατομή 65, η οποία βρίσκεται στην αρχή (ανάντη) του μελετούμενου τμήματος του ποταμού Αναύρου
- Διατομή 32, η οποία βρίσκεται στη θέση από την οποία ξεκινάει μία περιμετρική τάφρος, στην οποία απορρέει το νερό από τη λεκάνη απορροής Α2 (Παράρτημα Α).και δημιουργείται η συμβολή
- Διατομή 20.1, η οποία βρίσκεται ανάντη της γέφυρας στη συμβολή με την οδό Γιάννη Δήμου
- Διατομή 19.8, η οποία βρίσκεται κατάντη της γέφυρας στη συμβολή με την οδό Γιάννη Δήμου
- Διατομή 18, η οποία παρουσιάζει ανεπάρκεια ως προς την παροχετευτική της ικανότητα
- Διατομή 1, η οποία βρίσκεται στο τέλος (κατάντη) του μελετούμενου τμήματος του ποταμού Αναύρου

Στο σχήμα 4.84 δίνονται οι τιμές της ταχύτητας ροής συναρτήσει του μήκους του υδατορεύματος. Από την απεικόνιση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι στη διατομή 65 (Χ.Θ +3820.37 m) η ταχύτητα ροής είναι 10.78 m/sec για περίοδο επαναφοράς 100 ετών και 11.07 m/sec για περίοδο επαναφοράς 1000 ετών. Αντιστοίχως. στη διατομή 32 (Χ.Θ +1992.03 m) η ταχύτητα ροής είναι 4.73 m/sec και 4.79 m/sec, στη διατομή 20.1 (Χ.Θ +1233.37 m) είναι 1.64 m/sec και 1.7 m/sec, στη διατομή 19.8 (Χ.Θ +1191 m) είναι 1.67 m/sec και 1.73 m/sec, στη διατομή 18 (Χ.Θ +1150 m) είναι 3.59 m/sec και 3.51 m/sec και τέλος στη διατομή 1 (Χ.Θ +0 m) είναι 3.15 m/sec και 3.25 m/sec. Παρατηρείται ότι, ενώ σε όλες τις διατομές η ταχύτητα ροής είναι μεγαλύτερη για περίοδο επαναφοράς 1000 ετών σε σχέση με την περίοδο επαναφοράς των 100 ετών, στη διατομή 18 φαίνεται το ακριβώς αντίθετο, καθώς αυξάνεται το εμβαδόν της υδάτινης επιφάνειας με αποτέλεσμα να πλημμυρίζει η αριστερή όχθη.

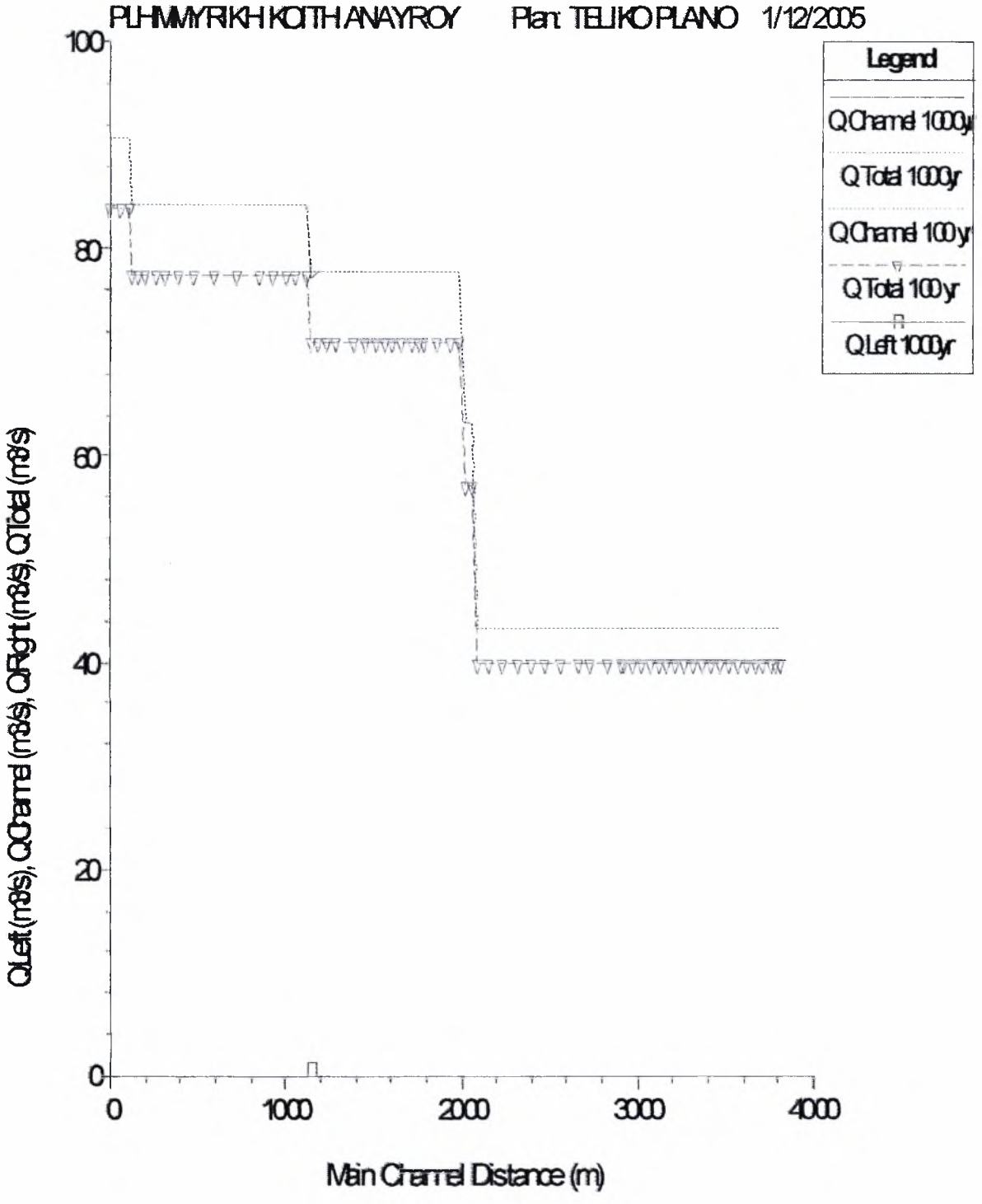
Στο σχήμα 4.85, απεικονίζονται οι τιμές της παροχής αιχμής συναρτήσει του μήκους του υδατορεύματος. Συγκεκριμένα στη διατομή 65 (Χ.Θ +3820.37 m), η παροχή είναι 39.82 $m^3$/sec για περίοδο επαναφοράς 100 ετών και 43.28 $m^3$/sec για περίοδο επαναφοράς 1000 ετών. Αντίστοιχα, στις διατομές 32 (Χ.Θ +1992.03 m), 20.1 (Χ.Θ +1233.37 m), 19.8 (Χ.Θ +1191 m), 18 (Χ.Θ +1150 m) είναι 70.78 $m^3$/sec και 77.63 $m^3$/sec και στη διατομή 1 (Χ.Θ +0 m) είναι 82.53 $m^3$/sec και 89.37 $m^3$/sec. Όπως ήταν αναμενόμενο, η παροχή είναι μεγαλύτερη για περίοδο επαναφοράς 1000 ετών εν συγκρίσει με την περίοδο επαναφοράς 100 ετών.

Στο σχήμα 4.86 εμφανίζονται οι τιμές του εμβαδού της υγρής διατομής συναρτήσει του μήκους του υδατορεύματος, στη διατομή 65 (Χ.Θ +3820.37 m) είναι 3.69 $m^2$ για περίοδο επαναφοράς 100 ετών και 3.91 $m^2$ για περίοδο επαναφοράς 1000 ετών. Αντιστοίχως, στη διατομή 32 (Χ.Θ +1992.03 m) είναι 14.97 $m^2$ και 15.88 $m^2$, στη διατομή 20.1 (Χ.Θ +1233.37 m) είναι 43.2 $m^2$ και 45.65 $m^2$, στη διατομή 19.8 (Χ.Θ +1191 m) είναι 42.48 $m^2$ και 44.89 $m^2$, στη διατομή 18 (Χ.Θ +1150 m) είναι 19.73 $m^2$ και 22.12 $m^2$ και στη διατομή 1 (Χ.Θ +0 m) είναι 26.18 $m^2$ και 27.52 $m^2$. Όπως φαίνεται, το εμβαδόν της υγρής διατομής αυξάνεται κατά την περίοδο επαναφοράς 1000 ετών σε σχέση με την περίοδο επαναφοράς 100 ετών, και στην περίπτωση της διατομής 18 η διαφορά τους γίνεται ακόμη μεγαλύτερη.

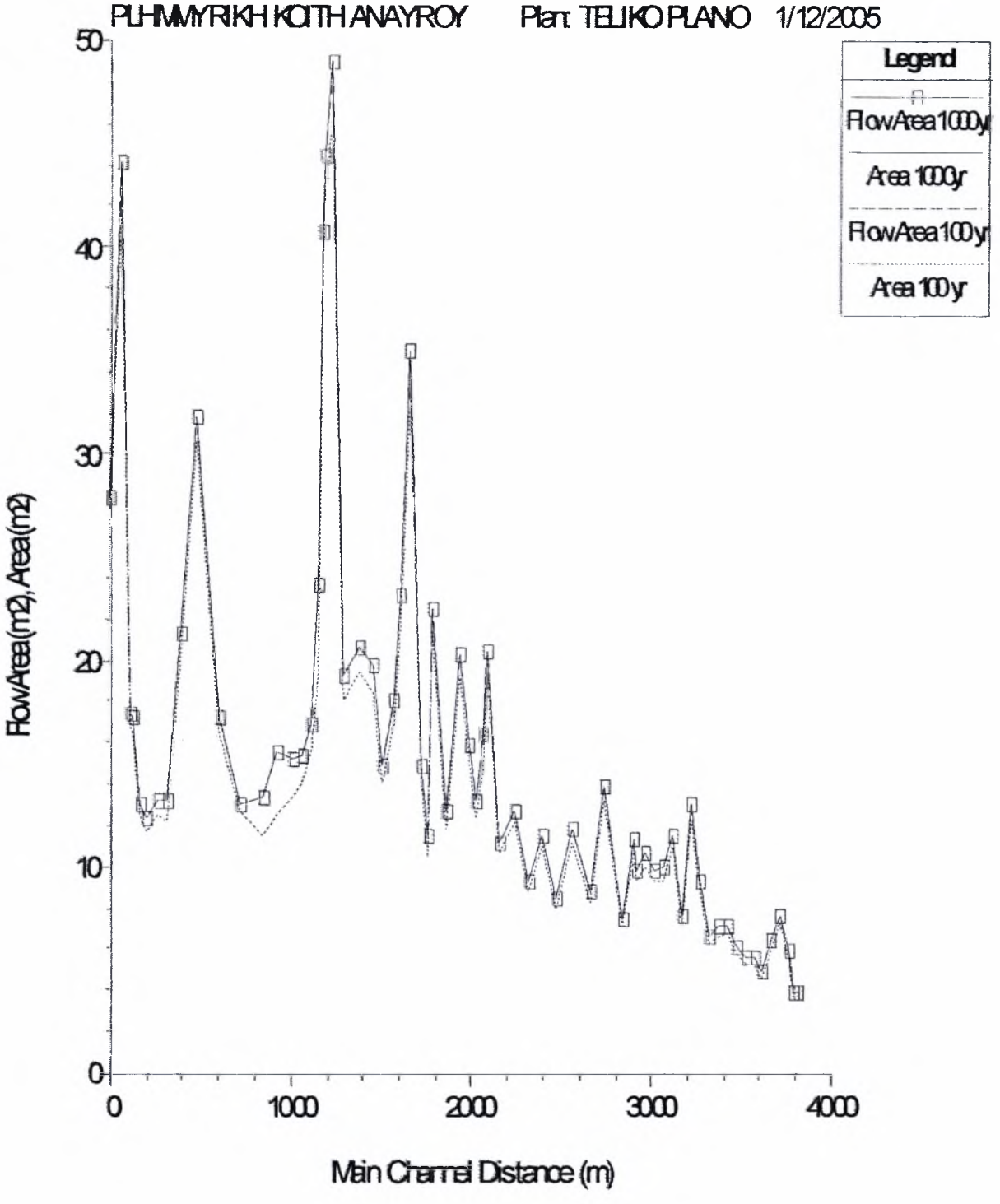
Τέλος, στο σχήμα 4.87 παρουσιάζονται οι τιμές του αριθμού Froude κατά μήκος του υδατορεύματος, στη διατομή 65 (Χ.Θ +3820.37 m) είναι 3.67 για περίοδο επαναφοράς 100 ετών και 3.66 για περίοδο επαναφοράς 1000 ετών. Αντίστοιχα, στη διατομή 32 (Χ.Θ +1992.03 m) είναι 2.35 και 2.36, στη διατομή 20.1 (Χ.Θ +1233.37 m) είναι 0.38 και 0.39, στη διατομή 19.8 (Χ.Θ +1191 m) είναι 0.39 και 0.40, στη διατομή 18 (Χ.Θ +1150 m) είναι 0.99 και 1.00 και στη διατομή 1 (Χ.Θ +0 m) είναι 1.00 και 1.01. Παρατηρείται ότι ο αριθμός Froude αυξάνεται, όταν αυξάνεται η περίοδος επαναφοράς της μέγιστης πλημμυρικής παροχής.



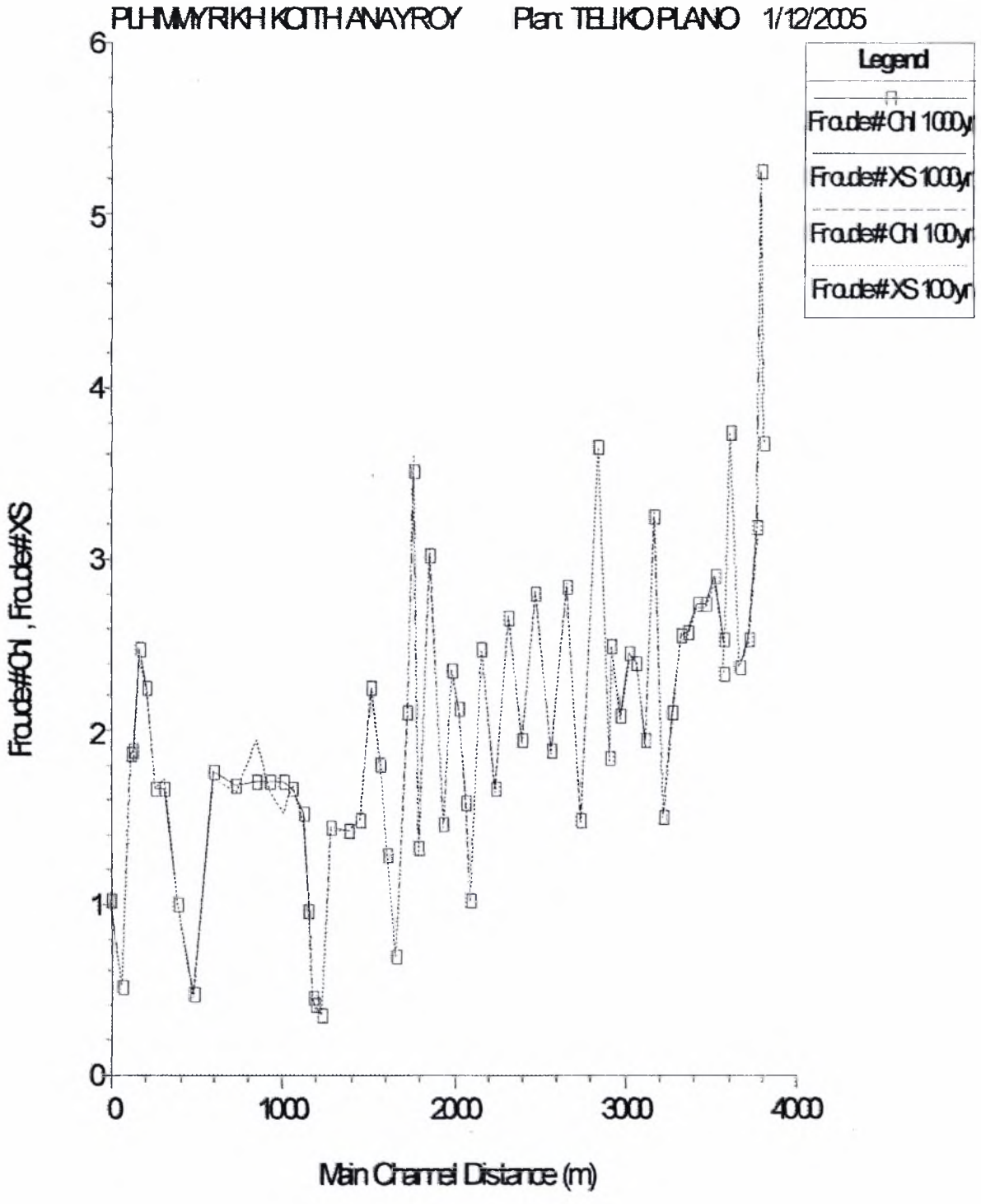

**Σχήμα 4.84:** Διάγραμμα της ταχύτητας της ροής συναρτήσει του μήκους του υδατορεύματος




**Σχήμα 4.85:** Διάγραμμα της παροχής συναρτήσει του μήκους του υδατορεύματος



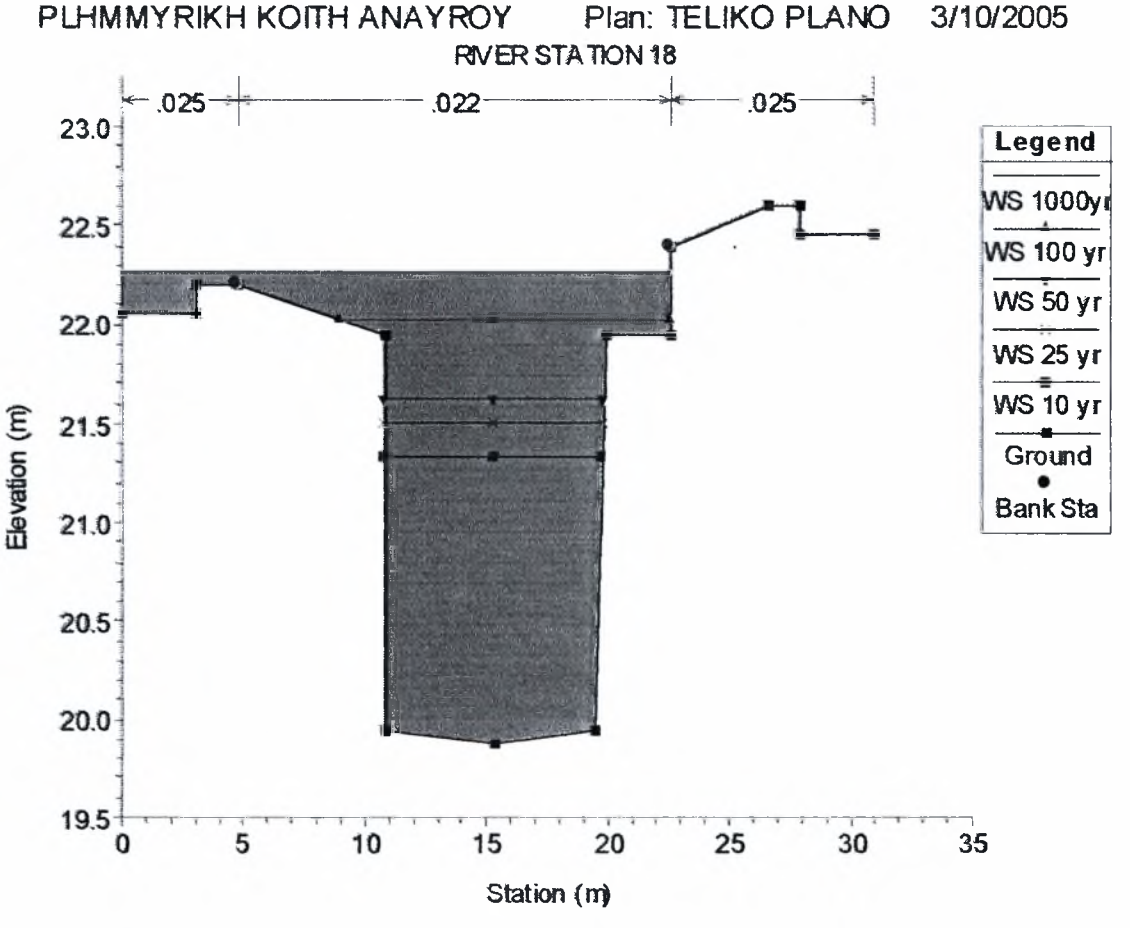

**Σχήμα 4.85:** Διάγραμμα του εμβαδού της υδάτινης επιφάνειας συναρτήσει του μήκους του υδατορεύματος



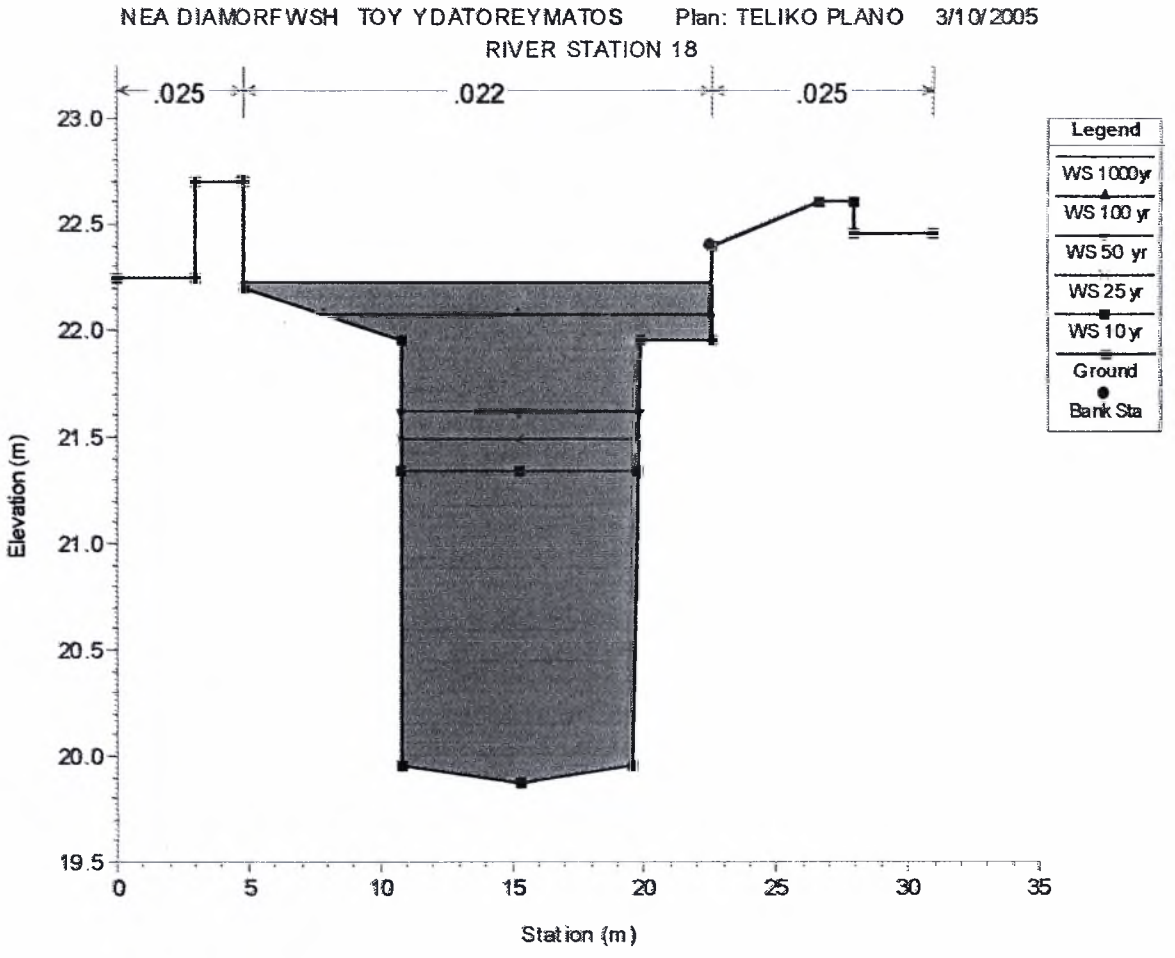

**Σχήμα 4.86:** Διάγραμμα του αριθμού Froude συναρτήσει του μήκους του υδατορεύματος

## 4.4 Νέα διαμόρφωση της κοίτης

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στη διατομή 18 η κυρίως κοίτη αδυνατεί να διοχετεύσει τη μέγιστη πλημμυρική παροχή για περίοδο επαναφοράς 1000 έτη. Για το λόγο αυτό απαιτείται η κατασκευή προστατευτικού αντιπλημμυρικού αναχώματος, ύψους 0.5 μέτρων περίπου, δηλαδή η κατασκευή ενός τοίχου από σκυρόδεμα, καθώς η συγκεκριμένη θέση βρίσκεται σε τμήμα του ποταμού όπου είναι σκυροδετημένη η κοίτη. Στα σχήματα 4.87 και 4.88 φαίνεται η διατομή 18 πριν και μετά τη διαμόρφωση της κοίτης του υδατορεύματος.




**Σχήμα 4.87:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 18 του Αναύρου πριν τη διαμόρφωση της κοίτης




**Σχήμα 4.88:** Απεικόνιση της ελεύθερης επιφάνειας στη διατομή 18 του Αναύρου μετά τη διαμόρφωση της κοίτης

Η επιτυχία της κατασκευής ενός αναχώματος έγκειται αρχικά στην αντιπλημμυρική προστασία των παράπλευρων περιοχών και, έπειτα, στο μικρό κόστος κατασκευής. Επειδή η παρούσα διατομή πλημμυρίζει για περίοδο επαναφοράς 1000 ετών, δεν κρίνεται απαραίτητη η άμεση κατασκευή του προστατευτικού αναχώματος.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5$^{O}$

# ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

## 5.1 Συμπεράσματα από τη μελέτη του ποταμού Αναύρου

Ολοκληρώνοντας αριθμητική τη προσομοίωση της ελεύθερης ροής του ποταμού Αναύρου, όπως περιγράφηκε αναλυτικά στα προηγούμενα κεφαλαία της εργασίας, προκύπτουν ορισμένα πολύ βασικά συμπεράσματα:

1. Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη, το πρόγραμμα Υδραυλικής προσομοίωσης HEC-RAS, παρέχει μεγάλες δυνατότητες στη μελέτη της αντιπλημμυρικής προστασίας αστικών και μη περιοχών. Παρουσιάζει κάποιες αδυναμίες, οι οποίες δεν περιορίζουν όμως την αποτελεσματικότητα του σε τέτοιου είδους μελέτες. Η χρήση του πρέπει να γίνεται με κριτική διάθεση και με συνεχή έλεγχο της ορθότητας των αποτελεσμάτων. Υπολογιστικά προγράμματα, όπως το παραπάνω, δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να αντικαθιστούν τη λογική και την κρίση του μηχανικού.
2. Τα αποτελέσματα από μία αριθμητική προσομοίωση πρέπει να ερευνούνται προσεκτικά για τη δυνατότητα και την ορθότητα εφαρμογής τους. Οι επικρατούσες συνθήκες μιας περιοχής δε μπορούν να προσομοιωθούν με απόλυτη επιτυχία, όπως και οι αστάθμητοι παράγοντες που μπορεί να εμφανισθούν.
3. Η αριθμητική προσομοίωση της ελεύθερης επιφάνειας του ποταμού Αναύρου μέσω του προγράμματος HEC-RAS δεν έδωσε σημαντικές πλημμύρες στην περιοχή, παρά μόνο για την πλημμυρική παροχή με περίοδο επαναφοράς 1000 ετών. Η διαμόρφωση του ποταμού είναι ικνοποιητική για την αντιμετώπιση των συνήθων πλημμυρών, καθώς υπάρχει σε όλες τις διατομές επαρκές περιθώριο καθως θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας και τη στερεομεταφορά που δεν λαμβάνεται υπόψη

στην επίλυση μέσω του HEC-RAS. Παρόλα αυτά, προτείνεται η επέκταση ενός αναχώματος, έτσι ώστε να εξασφαλισθεί η προστασία της αστικής περιοχής ακόμα και από τις πλημμύρες με περίοδο επαναφοράς 1:1000.

## 5.2 Αδυναμίες του προγράμματος

Το υδραυλικό πρόγραμμα προσομοίωσης HEC-RAS αποτελεί ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για τον υπολογισμό της στάθμης του νερού και της μελέτης αντιπλημμυρικής προστασίας φυσικών υδατορευμάτων. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει είναι σημαντικά, καθώς τόσο η εισαγωγή των δεδομένων όσο και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων γίνεται με τρόπο απλό και κατανοητό, ώστε να μπορεί να ελεγχθεί σε κάθε βήμα η πορεία των υπολογισμών που εκτελεί. Όπως όλα, όμως, τα υπολογιστικά πακέτα εμφανίζει κάποιες αδυναμίες, οι οποίες χρήζουν επισήμανσης προς βελτίωση για την περαιτέρω εξέλιξή του. Ο εντοπισμός αυτών των ατελειών και των προβλημάτων τα οποία εμφανίζει μπορεί να γίνει μόνο από πολλαπλή εφαρμογή του προγράμματος στο σύνολο των δυνατοτήτων του. Στη συνέχεια, θα αναφερθούν οι αδυναμίες του προγράμματος, όπως αυτές προέκυψαν από την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, οι οποίες, πιθανό, δεν αποτελούν και τις μοναδικές, καθώς πολλά τμήματα του προγράμματος δε χρησιμοποιήθηκαν. Οι αδυναμίες που εντοπίστηκαν είναι οι ακόλουθες:

1. Οι διατομές τόσο κατά την εισαγωγή των συντεταγμένων, όσο και κατά τον έλεγχο των αποτελεσμάτων δε μπορούν να σχεδιαστούν υπό κατάλληλη κλίμακα, έτσι ώστε να μην αποδίδεται η πραγματική τους κατάσταση.
2. Κατά την εισαγωγή ενδιάμεσων διατομών με τη μορφή της γραμμικής παρεμβολής στις αρχικά δεδομένες διατομές θα πρέπει να γίνει προσεκτικός έλεγχος των χαρακτηριστικών των νέων διατομών και ιδιαίτερα του συντελεστή τραχύτητας. Η διόρθωση του συντελεστή τραχύτητας είναι απαραίτητη, όπως και των ακριβών υψομέτρων των αναχωμάτων και της μορφής της κοίτης.

3. Το πρόγραμμα αν και είναι μέσα από τα Windows δεν έχει τη δυνατότητα παρουσιάζει με Ελληνικούς χαρακτήρες τα αποτελέσματα και τους τίτλους των μελετών.
4. Η τρισδιάστατη απεικόνιση του υδατορεύματος που μελετάται δε μπορεί να αποδώσει με ακρίβεια την κατάσταση που επικρατεί, ενώ η δυνατότητα τμηματικής προβολής της σε μεγαλύτερη κλίμακα αποδεικνύεται αδύνατη αφού η κλίμακα μεταβάλλεται από τμήμα σε τμήμα.
5. Δεν είναι δυνατή η εκτύπωση υπό κλίμακα της μηκοτομής που εξάγει το πρόγραμμα. Το γεγονός αυτό δε δίνει τη δυνατότητα μιας επισκόπησης της διαδικασίας μέσω της μηκοτομής.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

# ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ HEC-RAS

| RIVER | River Stat. | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chnl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| ANAYROS | 65 | 1000yr | 43.28 | 160.45 | 161.38 | 162.66 | 167.63 | 0.088022 | 11.07 | 3.91 | 4.2 | 3.66 |
| ANAYROS | 65 | 100 yr | 39.82 | 160.45 | 161.33 | 162.54 | 167.25 | 0.088024 | 10.78 | 3.69 | 4.2 | 3.67 |
| ANAYROS | 65 | 50 yr | 34.5 | 160.45 | 161.25 | 162.35 | 166.65 | 0.088027 | 10.3 | 3.35 | 4.2 | 3.68 |
| ANAYROS | 65 | 25 yr | 31.02 | 160.45 | 161.19 | 162.22 | 166.23 | 0.088026 | 9.94 | 3.12 | 4.2 | 3.68 |
| ANAYROS | 65 | 10 yr | 26.15 | 160.45 | 161.11 | 162.03 | 165.61 | 0.088035 | 9.39 | 2.78 | 4.2 | 3.68 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 64 | 1000yr | 43.28 | 158.9 | 159.34 | 160.22 | 165.4 | 0.160742 | 10.91 | 3.97 | 9.01 | 5.24 |
| ANAYROS | 64 | 100 yr | 39.82 | 158.9 | 159.32 | 160.15 | 165.01 | 0.160985 | 10.57 | 3.77 | 9.01 | 5.22 |
| ANAYROS | 64 | 50 yr | 34.5 | 158.9 | 159.28 | 160.04 | 164.39 | 0.161025 | 10.01 | 3.45 | 9.01 | 5.17 |
| ANAYROS | 64 | 25 yr | 31.02 | 158.9 | 159.26 | 159.96 | 163.96 | 0.160593 | 9.61 | 3.23 | 9.01 | 5.12 |
| ANAYROS | 64 | 10 yr | 26.15 | 158.9 | 159.22 | 159.85 | 163.33 | 0.15929 | 8.98 | 2.91 | 9.01 | 5.04 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 63 | 1000yr | 43.28 | 157.24 | 157.99 | 158.64 | 160.8 | 0.115967 | 7.43 | 5.83 | 10.57 | 3.19 |
| ANAYROS | 63 | 100 yr | 39.82 | 157.24 | 157.97 | 158.58 | 160.54 | 0.110717 | 7.1 | 5.61 | 10.53 | 3.1 |
| ANAYROS | 63 | 50 yr | 34.5 | 157.24 | 157.94 | 158.47 | 160.14 | 0.102168 | 6.57 | 5.25 | 10.46 | 2.96 |
| ANAYROS | 63 | 25 yr | 31.02 | 157.24 | 157.91 | 158.4 | 159.87 | 0.096213 | 6.2 | 5.01 | 10.41 | 2.85 |
| ANAYROS | 63 | 10 yr | 26.15 | 157.24 | 157.88 | 158.3 | 159.5 | 0.087446 | 5.65 | 4.63 | 10.34 | 2.69 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 62 | 1000yr | 43.28 | 153.49 | 154.24 | 154.67 | 155.86 | 0.074292 | 5.65 | 7.67 | 15.17 | 2.53 |
| ANAYROS | 62 | 100 yr | 39.82 | 153.49 | 154.21 | 154.62 | 155.74 | 0.074331 | 5.47 | 7.28 | 15.13 | 2.52 |
| ANAYROS | 62 | 50 yr | 34.5 | 153.49 | 154.17 | 154.54 | 155.54 | 0.074833 | 5.19 | 6.64 | 15.06 | 2.5 |
| ANAYROS | 62 | 25 yr | 31.02 | 153.49 | 154.14 | 154.49 | 155.41 | 0.07565 | 5 | 6.2 | 15.01 | 2.49 |
| ΑΝΑΥΡΟΣ | 62 | 10 yr | 26.15 | 153.49 | 154.09 | 154.4 | 155.24 | 0.077648 | 4.75 | 5.5 | 14.74 | 2.48 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 61 | 1000yr | 43.28 | 148.35 | 150.09 | 150.81 | 152.45 | 0.060331 | 6.8 | 6.36 | 7.64 | 2.38 |
| ANAYROS | 61 | 100 yr | 39.82 | 148.35 | 150.04 | 150.72 | 152.31 | 0.060646 | 6.68 | 5.96 | 7.37 | 2.37 |
| ANAYROS | 61 | 50 yr | 34.5 | 148.35 | 149.95 | 150.58 | 152.09 | 0.061279 | 6.48 | 5.32 | 6.94 | 2.36 |
| ANAYROS | 61 | 25 yr | 31.02 | 148.35 | 149.89 | 150.48 | 151.93 | 0.061711 | 6.34 | 4.9 | 6.63 | 2.35 |
| ANAYROS | 61 | 10 yr | 26.15 | 148.35 | 149.79 | 150.35 | 151.69 | 0.06249 | 6.11 | 4.28 | 6.16 | 2.34 |

# ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ HEC-RAS

| RIVER | River Stat. | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Fronde # Chnl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| ANAYROS | 60 | 1000yr | 43.28 | 142.71 | 143.64 | 144.47 | 147.73 | 0.152637 | 8.95 | 4.83 | 8.21 | 3.72 |
| ANAYROS | 60 | 100 yr | 39.82 | 142.71 | 143.61 | 144.4 | 147.55 | 0.15565 | 8.8 | 4.53 | 8.02 | 3.74 |
| ANAYROS | 60 | 50 yr | 34.5 | 142.71 | 143.54 | 144.28 | 147.25 | 0.160852 | 8.52 | 4.05 | 7.72 | 3.76 |
| ANAYROS | 60 | 25 yr | 31.02 | 142.71 | 143.5 | 144.2 | 147.03 | 0.164783 | 8.32 | 3.73 | 7.51 | 3.77 |
| ANAYROS | 60 | 10 yr | 26.15 | 142.71 | 143.44 | 144.08 | 146.7 | 0.171056 | 8 | 3.27 | 7.2 | 3.79 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 59 | 1000yr | 43.28 | 138.5 | 139.98 | 141.07 | 143.1 | 0.066312 | 7.83 | 5.53 | 4.83 | 2.33 |
| ANAYROS | 59 | 100 yr | 39.82 | 138.5 | 139.91 | 140.99 | 142.89 | 0.066278 | 7.64 | 5.21 | 4.76 | 2.33 |
| ANAYROS | 59 | 50 yr | 34.5 | 138.5 | 139.81 | 140.6 | 142.54 | 0.066009 | 7.33 | 4.71 | 4.64 | 2.32 |
| ANAYROS | 59 | 25 yr | 31.02 | 138.5 | 139.73 | 140.48 | 142.3 | 0.065734 | 7.09 | 4.37 | 4.56 | 2.31 |
| ANAYROS | 59 | 10 yr | 26.15 | 138.5 | 139.63 | 140.3 | 141.93 | 0.065155 | 6.72 | 3.89 | 4.44 | 2.29 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 58 | 1000yr | 43.28 | 138.3 | 139.63 | 140.49 | 142.75 | 0.072533 | 7.83 | 5.53 | 5.66 | 2.53 |
| ANAYROS | 58 | 100 yr | 39.82 | 138.3 | 139.57 | 140.4 | 142.54 | 0.072081 | 7.63 | 5.22 | 5.56 | 2.51 |
| ANAYROS | 58 | 50 yr | 34.5 | 138.3 | 139.49 | 140.24 | 142.19 | 0.070954 | 7.29 | 4.74 | 5.39 | 2.48 |
| ANAYROS | 58 | 25 yr | 31.02 | 138.3 | 139.43 | 140.13 | 141.95 | 0.070019 | 7.03 | 4.41 | 5.27 | 2.45 |
| ANAYROS | 58 | 10 yr | 26.15 | 138.3 | 139.34 | 139.98 | 141.58 | 0.068292 | 6.63 | 3.94 | 5.1 | 2.41 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 57 | 1000yr | 43.28 | 134.44 | 135.7 | 136.47 | 138.72 | 0.08866 | 7.7 | 5.62 | 7.76 | 2.89 |
| ANAYROS | 57 | 100 yr | 39.82 | 134.44 | 135.66 | 136.39 | 138.54 | 0.088246 | 7.52 | 5.29 | 7.55 | 2.87 |
| ANAYROS | 57 | 50 yr | 34.5 | 134.44 | 135.59 | 136.27 | 138.24 | 0.087566 | 7.22 | 4.78 | 7.21 | 2.83 |
| ANAYROS | 57 | 25 yr | 31.02 | 134.44 | 135.54 | 136.19 | 138.04 | 0.087366 | 7.01 | 4.42 | 6.97 | 2.81 |
| ANAYROS | 57 | 10 yr | 26.15 | 134.44 | 135.46 | 136.06 | 137.74 | 0.086809 | 6.69 | 3.91 | 6.6 | 2.77 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 56 | 1000yr | 43.28 | 130.53 | 131.8 | 132.47 | 134.34 | 0.081117 | 7.06 | 6.13 | 8.99 | 2.73 |
| ANAYROS | 56 | 100 yr | 39.82 | 130.53 | 131.75 | 132.4 | 134.2 | 0.080362 | 6.93 | 5.75 | 8.61 | 2.71 |
| ANAYROS | 56 | 50 yr | 34.5 | 130.53 | 131.68 | 132.3 | 133.98 | 0.079144 | 6.72 | 5.14 | 7.97 | 2.67 |
| ANAYROS | 56 | 25 yr | 31.02 | 130.53 | 131.63 | 132.22 | 133.82 | 0.078176 | 6.57 | 4.72 | 7.5 | 2.64 |
| ANAYROS | 56 | 10 yr | 26.15 | 130.53 | 131.54 | 132.11 | 133.6 | 0.076718 | 6.35 | 4.12 | 6.75 | 2.6 |

# ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ HEC-RAS

| RIVER | River Stat. | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chnl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| ANAYROS | 55 | 1000yr | 43.28 | 127.27 | 128.11 | 128.61 | 130 | 0.084562 | 6.08 | 7.11 | 14.16 | 2.74 |
| ANAYROS | 55 | 100 yr | 39.82 | 127.27 | 128.09 | 128.55 | 129.88 | 0.08467 | 5.93 | 6.71 | 13.88 | 2.72 |
| ANAYROS | 55 | 50 yr | 34.5 | 127.27 | 128.04 | 128.47 | 129.7 | 0.08447 | 5.71 | 6.04 | 13.2 | 2.7 |
| ANAYROS | 55 | 25 yr | 31.02 | 127.27 | 128 | 128.41 | 129.57 | 0.08444 | 5.56 | 5.58 | 12.72 | 2.68 |
| ANAYROS | 55 | 10 yr | 26.15 | 127.27 | 127.95 | 128.32 | 129.39 | 0.084541 | 5.32 | 4.92 | 11.97 | 2.65 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 54 | 1000yr | 43.28 | 123.04 | 124.19 | 124.72 | 126.1 | 0.072189 | 6.12 | 7.07 | 12.31 | 2.58 |
| ANAYROS | 54 | 100 yr | 39.82 | 123.04 | 124.15 | 124.66 | 125.98 | 0.071965 | 5.99 | 6.65 | 11.94 | 2.56 |
| ANAYROS | 54 | 50 yr | 34.5 | 123.04 | 124.1 | 124.57 | 125.8 | 0.072166 | 5.78 | 5.97 | 11.31 | 2.54 |
| ANAYROS | 54 | 25 yr | 31.02 | 123.04 | 124.05 | 124.51 | 125.67 | 0.072263 | 5.63 | 5.51 | 10.86 | 2.52 |
| ANAYROS | 54 | 10 yr | 26.15 | 123.04 | 123.99 | 124.41 | 125.48 | 0.07242 | 5.4 | 4.84 | 10.19 | 2.5 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 53 | 1000yr | 43.28 | 118.53 | 119.76 | 120.36 | 121.95 | 0.094742 | 6.56 | 6.6 | 9.91 | 2.56 |
| ANAYROS | 53 | 100 yr | 39.82 | 118.53 | 119.72 | 120.3 | 121.82 | 0.096003 | 6.42 | 6.2 | 9.71 | 2.56 |
| ANAYROS | 53 | 50 yr | 34.5 | 118.53 | 119.65 | 120.19 | 121.6 | 0.097633 | 6.18 | 5.58 | 9.39 | 2.56 |
| ANAYROS | 53 | 25 yr | 31.02 | 118.53 | 119.61 | 120.12 | 121.45 | 0.098847 | 6.01 | 5.17 | 9.17 | 2.55 |
| ANAYROS | 53 | 10 yr | 26.15 | 118.53 | 119.54 | 120 | 121.22 | 0.100805 | 5.73 | 4.56 | 8.85 | 2.55 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 52 | 1000yr | 43.28 | 116.46 | 117.13 | 117.45 | 118.25 | 0.050714 | 4.69 | 9.23 | 18.38 | 2.11 |
| ANAYROS | 52 | 100 yr | 39.82 | 116.46 | 117.1 | 117.41 | 118.15 | 0.049558 | 4.53 | 8.79 | 18.15 | 2.08 |
| ANAYROS | 52 | 50 yr | 34.5 | 116.46 | 117.06 | 117.34 | 117.99 | 0.04776 | 4.27 | 8.08 | 17.76 | 2.02 |
| ANAYROS | 52 | 25 yr | 31.02 | 116.46 | 117.03 | 117.29 | 117.88 | 0.046427 | 4.08 | 7.6 | 17.49 | 1.98 |
| ANAYROS | 52 | 10 yr | 26.15 | 116.46 | 116.99 | 117.22 | 117.73 | 0.044378 | 3.8 | 6.88 | 17.08 | 1.91 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 51 | 1000yr | 43.28 | 115.14 | 115.75 | 115.91 | 116.32 | 0.0259 | 3.34 | 12.97 | 26.01 | 1.51 |
| ANAYROS | 51 | 100 yr | 39.82 | 115.14 | 115.73 | 115.87 | 116.26 | 0.02566 | 3.22 | 12.36 | 25.98 | 1.49 |
| ANAYROS | 51 | 50 yr | 34.5 | 115.14 | 115.69 | 115.81 | 116.16 | 0.025279 | 3.03 | 11.38 | 25.93 | 1.46 |
| ANAYROS | 51 | 25 yr | 31.02 | 115.14 | 115.66 | 115.78 | 116.09 | 0.025052 | 2.9 | 10.69 | 25.89 | 1.44 |
| ANAYROS | 51 | 10 yr | 26.15 | 115.14 | 115.62 | 115.72 | 116 | 0.024771 | 2.7 | 9.67 | 25.84 | 1.41 |

# ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ HEC-RAS

| RIVER | River Stat. | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chnl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| ANAYROS | 50 | 1000yr | 43.28 | 111.44 | 112.04 | 112.42 | 113.7 | 0.136852 | 5.69 | 7.6 | 24.16 | 3.24 |
| ANAYROS | 50 | 100 yr | 39.82 | 111.44 | 112.02 | 112.38 | 113.62 | 0.142146 | 5.6 | 7.11 | 23.82 | 3.27 |
| ANAYROS | 50 | 50 yr | 34.5 | 111.44 | 111.99 | 112.33 | 113.51 | 0.150725 | 5.46 | 6.32 | 23 | 3.33 |
| ANAYROS | 50 | 25 yr | 31.02 | 111.44 | 111.96 | 112.29 | 113.44 | 0.155231 | 5.38 | 5.77 | 21.98 | 3.35 |
| ANAYROS | 50 | 10 yr | 26.15 | 111.44 | 111.93 | 112.22 | 113.33 | 0.162835 | 5.25 | 4.98 | 20.44 | 3.39 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 49 | 1000yr | 43.28 | 108.49 | 108.96 | 109.17 | 109.69 | 0.046785 | 3.8 | 11.4 | 29.24 | 1.94 |
| ANAYROS | 49 | 100 yr | 39.82 | 108.49 | 108.94 | 109.14 | 109.62 | 0.045743 | 3.65 | 10.92 | 29.24 | 1.91 |
| ANAYROS | 49 | 50 yr | 34.5 | 108.49 | 108.92 | 109.09 | 109.51 | 0.044284 | 3.41 | 10.11 | 29.24 | 1.85 |
| ANAYROS | 49 | 25 yr | 31.02 | 108.49 | 108.9 | 109.05 | 109.44 | 0.043578 | 3.26 | 9.52 | 29.24 | 1.82 |
| ANAYROS | 49 | 10 yr | 26.15 | 108.49 | 108.87 | 109 | 109.33 | 0.04242 | 3.02 | 8.66 | 29.24 | 1.77 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 48 | 1000yr | 43.28 | 105.2 | 105.76 | 106.03 | 106.73 | 0.07616 | 4.36 | 9.93 | 29.39 | 2.39 |
| ANAYROS | 48 | 100 yr | 39.82 | 105.2 | 105.74 | 105.99 | 106.66 | 0.078036 | 4.25 | 9.37 | 29.39 | 2.4 |
| ANAYROS | 48 | 50 yr | 34.5 | 105.2 | 105.71 | 105.94 | 106.56 | 0.081251 | 4.07 | 8.49 | 29.39 | 2.41 |
| ANAYROS | 48 | 25 yr | 31.02 | 105.2 | 105.69 | 105.91 | 106.48 | 0.083159 | 3.93 | 7.9 | 29.39 | 2.42 |
| ANAYROS | 48 | 10 yr | 26.15 | 105.2 | 105.66 | 105.85 | 106.37 | 0.08679 | 3.72 | 7.04 | 29.39 | 2.42 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 47 | 1000yr | 43.28 | 101.3 | 101.86 | 102.12 | 102.86 | 0.078739 | 4.43 | 9.77 | 29.31 | 2.45 |
| ANAYROS | 47 | 100 yr | 39.82 | 101.3 | 101.84 | 102.09 | 102.77 | 0.077727 | 4.27 | 9.33 | 29.3 | 2.41 |
| ANAYROS | 47 | 50 yr | 34.5 | 101.3 | 101.82 | 102.04 | 102.63 | 0.075595 | 4 | 8.63 | 29.3 | 2.35 |
| ANAYROS | 47 | 25 yr | 31.02 | 101.3 | 101.8 | 102 | 102.54 | 0.074226 | 3.81 | 8.13 | 29.29 | 2.31 |
| ANAYROS | 47 | 10 yr | 26.15 | 101.3 | 101.78 | 101.95 | 102.41 | 0.071781 | 3.53 | 7.41 | 29.29 | 2.24 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 46 | 1000yr | 43.28 | 98.05 | 98.76 | 98.99 | 99.59 | 0.053455 | 4.06 | 10.66 | 27.66 | 2.09 |
| ANAYROS | 46 | 100 yr | 39.82 | 98.05 | 98.73 | 98.96 | 99.54 | 0.053521 | 3.97 | 10.03 | 26.88 | 2.08 |
| ANAYROS | 46 | 50 yr | 34.5 | 98.05 | 98.69 | 98.91 | 99.44 | 0.053965 | 3.84 | 8.99 | 25.57 | 2.06 |
| ANAYROS | 46 | 25 yr | 31.02 | 98.05 | 98.66 | 98.87 | 99.38 | 0.054344 | 3.74 | 8.3 | 24.65 | 2.06 |
| ANAYROS | 46 | 10 yr | 26.15 | 98.05 | 98.62 | 98.82 | 99.28 | 0.05509 | 3.59 | 7.29 | 23.24 | 2.05 |

# ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ HEC-RAS

| RIVER | River Stat. | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chnl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| ANAYROS | 45 | 1000yr | 43.28 | 94.8 | 95.37 | 95.63 | 96.35 | 0.081647 | 4.38 | 9.88 | 31.65 | 2.5 |
| ANAYROS | 45 | 100 yr | 39.82 | 94.8 | 95.35 | 95.6 | 96.28 | 0.081852 | 4.28 | 9.31 | 30.97 | 2.49 |
| ANAYROS | 45 | 50 yr | 34.5 | 94.8 | 95.32 | 95.55 | 96.18 | 0.081836 | 4.1 | 8.42 | 29.86 | 2.46 |
| ANAYROS | 45 | 25 yr | 31.02 | 94.8 | 95.3 | 95.52 | 96.1 | 0.081723 | 3.97 | 7.82 | 29.1 | 2.44 |
| ANAYROS | 45 | 10 yr | 26.15 | 94.8 | 95.27 | 95.47 | 95.99 | 0.081421 | 3.76 | 6.95 | 27.95 | 2.41 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 44 | 1000yr | 43.28 | 94.21 | 94.8 | 95.02 | 95.54 | 0.039763 | 3.81 | 11.35 | 26.01 | 1.84 |
| ANAYROS | 44 | 100 yr | 39.82 | 94.21 | 94.78 | 94.99 | 95.48 | 0.04 | 3.7 | 10.76 | 25.94 | 1.83 |
| ANAYROS | 44 | 50 yr | 34.5 | 94.21 | 94.74 | 94.93 | 95.37 | 0.04002 | 3.51 | 9.82 | 25.62 | 1.81 |
| ANAYROS | 44 | 25 yr | 31.02 | 94.21 | 94.72 | 94.89 | 95.3 | 0.040111 | 3.38 | 9.17 | 25.34 | 1.8 |
| ANAYROS | 44 | 10 yr | 26.15 | 94.21 | 94.68 | 94.83 | 95.2 | 0.040183 | 3.18 | 8.22 | 24.92 | 1.77 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 43 | 1000yr | 43.28 | 88 | 88.36 | 88.71 | 90.09 | 0.186105 | 5.83 | 7.42 | 28.6 | 3.65 |
| ANAYROS | 43 | 100 yr | 39.82 | 88 | 88.34 | 88.68 | 89.98 | 0.188997 | 5.67 | 7.03 | 28.58 | 3.65 |
| ANAYROS | 43 | 50 yr | 34.5 | 88 | 88.32 | 88.62 | 89.82 | 0.196305 | 5.42 | 6.37 | 28.54 | 3.66 |
| ANAYROS | 43 | 25 yr | 31.02 | 88 | 88.31 | 88.59 | 89.7 | 0.201171 | 5.23 | 5.93 | 28.52 | 3.66 |
| ANAYROS | 43 | 10 yr | 26.15 | 88 | 88.28 | 88.54 | 89.53 | 0.209182 | 4.95 | 5.28 | 28.48 | 3.67 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 42 | 1000yr | 43.28 | 83 | 83.75 | 83.89 | 84.25 | 0.025724 | 3.11 | 13.92 | 31.13 | 1.48 |
| ANAYROS | 42 | 100 yr | 39.82 | 83 | 83.73 | 83.85 | 84.19 | 0.02536 | 3.01 | 13.23 | 30.76 | 1.46 |
| ANAYROS | 42 | 50 yr | 34.5 | 83 | 83.7 | 83.8 | 84.11 | 0.024693 | 2.85 | 12.11 | 30 | 1.43 |
| ANAYROS | 42 | 25 yr | 31.02 | 83 | 83.67 | 83.77 | 84.05 | 0.024255 | 2.74 | 11.34 | 29.46 | 1.41 |
| ANAYROS | 42 | 10 yr | 26.15 | 83 | 83.63 | 83.72 | 83.96 | 0.02361 | 2.56 | 10.2 | 28.66 | 1.37 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 41 | 1000yr | 43.28 | 78.95 | 79.55 | 79.86 | 80.78 | 0.106641 | 4.9 | 8.83 | 29.2 | 2.85 |
| ANAYROS | 41 | 100 yr | 39.82 | 78.95 | 79.53 | 79.82 | 80.73 | 0.109351 | 4.85 | 8.22 | 28.17 | 2.86 |
| ANAYROS | 41 | 50 yr | 34.5 | 78.95 | 79.5 | 79.77 | 80.65 | 0.114782 | 4.76 | 7.25 | 26.45 | 2.9 |
| ANAYROS | 41 | 25 yr | 31.02 | 78.95 | 79.47 | 79.74 | 80.6 | 0.118998 | 4.7 | 6.6 | 25.25 | 2.93 |
| ANAYROS | 41 | 10 yr | 26.15 | 78.95 | 79.44 | 79.69 | 80.51 | 0.126182 | 4.6 | 5.68 | 23.42 | 2.98 |

# ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ HEC-RAS

| RIVER | River Stat. | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chnl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| ANAYROS | 40 | 1000yr | 43.28 | 72.78 | 73.45 | 73.65 | 74.14 | 0.043483 | 3.69 | 11.74 | 30.32 | 1.89 |
| ANAYROS | 40 | 100 yr | 39.82 | 72.78 | 73.43 | 73.62 | 74.07 | 0.042889 | 3.55 | 11.21 | 30.3 | 1.86 |
| ANAYROS | 40 | 50 yr | 34.5 | 72.78 | 73.4 | 73.57 | 73.97 | 0.041807 | 3.36 | 10.27 | 29.67 | 1.82 |
| ANAYROS | 40 | 25 yr | 31.02 | 72.78 | 73.38 | 73.53 | 73.91 | 0.040987 | 3.24 | 9.58 | 28.8 | 1.79 |
| ANAYROS | 40 | 10 yr | 26.15 | 72.78 | 73.34 | 73.48 | 73.82 | 0.039721 | 3.05 | 8.56 | 27.46 | 1.75 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 39 | 1000yr | 43.28 | 66.8 | 67.37 | 67.72 | 68.73 | 0.099006 | 5.17 | 8.37 | 24.06 | 2.8 |
| ANAYROS | 39 | 100 yr | 39.82 | 66.8 | 67.35 | 67.68 | 68.65 | 0.101493 | 5.07 | 7.86 | 23.7 | 2.81 |
| ANAYROS | 39 | 50 yr | 34.5 | 66.8 | 67.31 | 67.62 | 68.54 | 0.106601 | 4.91 | 7.03 | 23.12 | 2.84 |
| ANAYROS | 39 | 25 yr | 31.02 | 66.8 | 67.29 | 67.58 | 68.46 | 0.110967 | 4.79 | 6.47 | 22.72 | 2.87 |
| ANAYROS | 39 | 10 yr | 26.15 | 66.8 | 67.25 | 67.52 | 68.34 | 0.118617 | 4.62 | 5.66 | 22.13 | 2.91 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 38 | 1000yr | 43.28 | 61.95 | 62.56 | 62.77 | 63.28 | 0.046853 | 3.75 | 11.54 | 30.6 | 1.95 |
| ANAYROS | 38 | 100 yr | 39.82 | 61.95 | 62.54 | 62.73 | 63.21 | 0.045975 | 3.61 | 11.04 | 30.59 | 1.92 |
| ANAYROS | 38 | 50 yr | 34.5 | 61.95 | 62.51 | 62.68 | 63.1 | 0.044356 | 3.4 | 10.14 | 29.86 | 1.86 |
| ANAYROS | 38 | 25 yr | 31.02 | 61.95 | 62.49 | 62.65 | 63.03 | 0.043122 | 3.26 | 9.52 | 29.3 | 1.83 |
| ANAYROS | 38 | 10 yr | 26.15 | 61.95 | 62.46 | 62.6 | 62.93 | 0.04123 | 3.04 | 8.6 | 28.46 | 1.76 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 37 | 1000yr | 43.28 | 56.5 | 57.01 | 57.29 | 58.1 | 0.093481 | 4.62 | 9.37 | 30.56 | 2.66 |
| ANAYROS | 37 | 100 yr | 39.82 | 56.5 | 56.99 | 57.26 | 58.03 | 0.096046 | 4.51 | 8.84 | 30.55 | 2.67 |
| ANAYROS | 37 | 50 yr | 34.5 | 56.5 | 56.97 | 57.21 | 57.92 | 0.101596 | 4.33 | 7.97 | 30.53 | 2.71 |
| ANAYROS | 37 | 25 yr | 31.02 | 56.5 | 56.95 | 57.17 | 57.85 | 0.106214 | 4.21 | 7.37 | 30.52 | 2.73 |
| ANAYROS | 37 | 10 yr | 26.15 | 56.5 | 56.92 | 57.12 | 57.75 | 0.114048 | 4.04 | 6.47 | 30.04 | 2.78 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 36 | 1000yr | 43.28 | 52.6 | 53.19 | 53.36 | 53.78 | 0.033232 | 3.4 | 12.72 | 30.04 | 1.67 |
| ANAYROS | 36 | 100 yr | 39.82 | 52.6 | 53.17 | 53.33 | 53.71 | 0.032645 | 3.27 | 12.16 | 30.03 | 1.64 |
| ANAYROS | 36 | 50 yr | 34.5 | 52.6 | 53.14 | 53.27 | 53.62 | 0.031545 | 3.06 | 11.26 | 30 | 1.6 |
| ANAYROS | 36 | 25 yr | 31.02 | 52.6 | 53.12 | 53.24 | 53.55 | 0.030739 | 2.91 | 10.64 | 29.98 | 1.56 |
| ANAYROS | 36 | 10 yr | 26.15 | 52.6 | 53.09 | 53.19 | 53.46 | 0.029586 | 2.69 | 9.71 | 29.96 | 1.51 |

# ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ HEC-RAS

| RIVER | River Sta | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| ANAYROS | 35.1 | 1000yr | 43.28 | 49.68 | 49.93 | 50.13 | 50.69 | 0.046748 | 3.86 | 11.2 | 44.92 | 2.47 |
| ANAYROS | 35.1 | 100 yr | 39.82 | 49.68 | 49.92 | 50.11 | 50.63 | 0.047512 | 3.76 | 10.6 | 44.92 | 2.47 |
| ANAYROS | 35.1 | 50 yr | 34.5 | 49.68 | 49.89 | 50.07 | 50.55 | 0.049 | 3.58 | 9.63 | 44.92 | 2.47 |
| ANAYROS | 35.1 | 25 yr | 31.02 | 49.68 | 49.88 | 50.04 | 50.49 | 0.05035 | 3.46 | 8.96 | 44.92 | 2.47 |
| ANAYROS | 35.1 | 10 yr | 26.15 | 49.68 | 49.86 | 50 | 50.4 | 0.052593 | 3.28 | 7.98 | 44.92 | 2.48 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 35 | | Bridge | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 34.8 | 1000yr | 43.28 | 49.68 | 50.13 | 50.13 | 50.36 | 0.00642 | 2.12 | 20.39 | 44.92 | 1.01 |
| ANAYROS | 34.8 | 100 yr | 39.82 | 49.68 | 50.11 | 50.11 | 50.33 | 0.006523 | 2.06 | 19.29 | 44.92 | 1.01 |
| ANAYROS | 34.8 | 50 yr | 34.5 | 49.68 | 50.07 | 50.07 | 50.27 | 0.006713 | 1.97 | 17.54 | 44.92 | 1 |
| ANAYROS | 34.8 | 25 yr | 31.02 | 49.68 | 50.04 | 50.04 | 50.23 | 0.00683 | 1.9 | 16.36 | 44.92 | 1 |
| ANAYROS | 34.8 | 10 yr | 26.15 | 49.68 | 50 | 50 | 50.17 | 0.007118 | 1.79 | 14.58 | 44.92 | 1.01 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 34 | 1000yr | 63.03 | 48 | 49.23 | 49.45 | 49.99 | 0.025932 | 3.86 | 16.32 | 26.63 | 1.57 |
| ANAYROS | 34 | 100 yr | 57.18 | 48 | 49.16 | 49.39 | 49.93 | 0.028099 | 3.88 | 14.72 | 25.3 | 1.62 |
| ANAYROS | 34 | 50 yr | 50.11 | 48 | 49.09 | 49.33 | 49.85 | 0.030314 | 3.87 | 12.96 | 23.73 | 1.67 |
| ANAYROS | 34 | 25 yr | 45.04 | 48 | 49.04 | 49.28 | 49.8 | 0.032474 | 3.86 | 11.66 | 22.51 | 1.71 |
| ANAYROS | 34 | 10 yr | 37.99 | 48 | 48.95 | 49.2 | 49.71 | 0.036296 | 3.86 | 9.84 | 20.68 | 1.79 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 33 | 1000yr | 63.03 | 46.65 | 47.37 | 47.71 | 48.53 | 0.051235 | 4.77 | 13.22 | 25.87 | 2.13 |
| ANAYROS | 33 | 100 yr | 57.18 | 46.65 | 47.34 | 47.67 | 48.43 | 0.050647 | 4.61 | 12.4 | 25.23 | 2.1 |
| ANAYROS | 33 | 50 yr | 50.11 | 46.65 | 47.3 | 47.6 | 48.29 | 0.050195 | 4.42 | 11.33 | 24.4 | 2.07 |
| ANAYROS | 33 | 25 yr | 45.04 | 46.65 | 47.27 | 47.55 | 48.19 | 0.049549 | 4.26 | 10.56 | 23.8 | 2.04 |
| ANAYROS | 33 | 10 yr | 37.99 | 46.65 | 47.22 | 47.47 | 48.04 | 0.048347 | 4 | 9.49 | 23.13 | 1.99 |

# ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ HEC-RAS

| RIVER | River Stat. | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chnl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| ANAYROS | 32 | 1000yr | 77.63 | 44.4 | 44.96 | 45.3 | 46.18 | 0.065734 | 4.89 | 15.88 | 36.3 | 2.36 |
| ANAYROS | 32 | 100 yr | 70.78 | 44.4 | 44.94 | 45.25 | 46.08 | 0.066327 | 4.73 | 14.97 | 36.25 | 2.35 |
| ANAYROS | 32 | 50 yr | 61.87 | 44.4 | 44.91 | 45.19 | 45.94 | 0.067416 | 4.51 | 13.72 | 36.18 | 2.34 |
| ANAYROS | 32 | 25 yr | 55.02 | 44.4 | 44.88 | 45.14 | 45.83 | 0.068766 | 4.33 | 12.7 | 36.13 | 2.33 |
| ANAYROS | 32 | 10 yr | 46.89 | 44.4 | 44.84 | 45.08 | 45.69 | 0.069411 | 4.08 | 11.5 | 36.06 | 2.31 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 31 | 1000yr | 77.63 | 42.65 | 43.53 | 43.74 | 44.28 | 0.021905 | 3.83 | 20.26 | 28.91 | 1.46 |
| ANAYROS | 31 | 100 yr | 70.78 | 42.65 | 43.5 | 43.68 | 44.19 | 0.021703 | 3.69 | 19.2 | 28.87 | 1.44 |
| ANAYROS | 31 | 50 yr | 61.87 | 42.65 | 43.45 | 43.61 | 44.07 | 0.021399 | 3.49 | 17.75 | 28.83 | 1.42 |
| ANAYROS | 31 | 25 yr | 55.02 | 42.65 | 43.41 | 43.55 | 43.97 | 0.021111 | 3.32 | 16.59 | 28.79 | 1.39 |
| ANAYROS | 31 | 10 yr | 46.89 | 42.65 | 43.35 | 43.47 | 43.85 | 0.020835 | 3.1 | 15.11 | 28.75 | 1.37 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 30 | 1000yr | 77.63 | 38.4 | 39.12 | 39.57 | 41.04 | 0.108345 | 6.14 | 12.65 | 30.03 | 3.02 |
| ANAYROS | 30 | 100 yr | 70.78 | 38.4 | 39.09 | 39.52 | 40.93 | 0.113376 | 6 | 11.8 | 30.02 | 3.05 |
| ANAYROS | 30 | 50 yr | 61.87 | 38.4 | 39.05 | 39.45 | 40.78 | 0.120425 | 5.82 | 10.63 | 29.65 | 3.1 |
| ANAYROS | 30 | 25 yr | 55.02 | 38.4 | 39.02 | 39.39 | 40.67 | 0.126045 | 5.69 | 9.67 | 28.93 | 3.14 |
| ANAYROS | 30 | 10 yr | 46.89 | 38.4 | 38.98 | 39.32 | 40.52 | 0.13407 | 5.51 | 8.52 | 28.04 | 3.19 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 29 | 1000yr | 77.63 | 36.41 | 37.36 | 37.5 | 37.97 | 0.017529 | 3.46 | 22.44 | 31.49 | 1.31 |
| ANAYROS | 29 | 100 yr | 70.78 | 36.41 | 37.33 | 37.45 | 37.89 | 0.017059 | 3.31 | 21.38 | 31.46 | 1.28 |
| ANAYROS | 29 | 50 yr | 61.87 | 36.41 | 37.28 | 37.38 | 37.78 | 0.016497 | 3.11 | 19.9 | 31.42 | 1.25 |
| ANAYROS | 29 | 25 yr | 55.02 | 36.41 | 37.24 | 37.33 | 37.69 | 0.016114 | 2.95 | 18.66 | 31.38 | 1.22 |
| ANAYROS | 29 | 10 yr | 46.89 | 36.41 | 37.19 | 37.26 | 37.58 | 0.015601 | 2.74 | 17.09 | 31.34 | 1.19 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 28 | 1000yr | 77.63 | 33.92 | 34.43 | 34.93 | 36.79 | 0.151996 | 6.8 | 11.42 | 29.71 | 3.5 |
| ANAYROS | 28 | 100 yr | 70.78 | 33.92 | 34.4 | 34.88 | 36.7 | 0.164635 | 6.72 | 10.54 | 29.7 | 3.6 |
| ANAYROS | 28 | 50 yr | 61.87 | 33.92 | 34.36 | 34.81 | 36.59 | 0.185673 | 6.6 | 9.37 | 29.69 | 3.75 |
| ANAYROS | 28 | 25 yr | 55.02 | 33.92 | 34.33 | 34.75 | 36.49 | 0.206468 | 6.51 | 8.45 | 29.68 | 3.9 |
| ANAYROS | 28 | 10 yr | 46.89 | 33.92 | 34.29 | 34.68 | 36.38 | 0.239822 | 6.39 | 7.33 | 29.67 | 4.11 |

# ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ HEC-RAS

| RIVER | River Stat. | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chnl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| ANAYROS | 27 | 1000yr | 77.63 | 31.52 | 32.2 | 32.6 | 33.58 | 0.047242 | 5.2 | 14.92 | 24.06 | 2.11 |
| ANAYROS | 27 | 100 yr | 70.78 | 31.52 | 32.17 | 32.54 | 33.44 | 0.046181 | 4.99 | 14.19 | 23.99 | 2.07 |
| ANAYROS | 27 | 50 yr | 61.87 | 31.52 | 32.13 | 32.46 | 33.25 | 0.044615 | 4.69 | 13.2 | 23.9 | 2.01 |
| ANAYROS | 27 | 25 yr | 55.02 | 31.52 | 32.09 | 32.39 | 33.1 | 0.043258 | 4.44 | 12.4 | 23.82 | 1.96 |
| ANAYROS | 27 | 10 yr | 46.89 | 31.52 | 32.05 | 32.31 | 32.92 | 0.041469 | 4.12 | 11.38 | 23.73 | 1.9 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 26.1 | 1000yr | 77.63 | 31.2 | 32.3 | 32.07 | 32.55 | 0.002434 | 2.23 | 34.89 | 33.19 | 0.69 |
| ANAYROS | 26.1 | 100 yr | 70.78 | 31.2 | 32.24 | 32.02 | 32.48 | 0.002466 | 2.16 | 32.83 | 33.19 | 0.69 |
| ANAYROS | 26.1 | 50 yr | 61.87 | 31.2 | 32.16 | 31.95 | 32.37 | 0.002514 | 2.06 | 30.05 | 33.19 | 0.69 |
| ANAYROS | 26.1 | 25 yr | 55.02 | 31.2 | 32.09 | 31.9 | 32.29 | 0.002555 | 1.98 | 27.83 | 33.19 | 0.69 |
| ANAYROS | 26.1 | 10 yr | 46.89 | 31.2 | 32.01 | 31.84 | 32.18 | 0.002614 | 1.87 | 25.07 | 33.19 | 0.69 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 26 | | Bridge | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 25.8 | 1000yr | 77.63 | 31.2 | 31.95 | 32.07 | 32.52 | 0.009307 | 3.35 | 23.14 | 33.19 | 1.28 |
| ANAYROS | 25.8 | 100 yr | 70.78 | 31.2 | 31.91 | 32.02 | 32.44 | 0.009405 | 3.25 | 21.8 | 33.19 | 1.28 |
| ANAYROS | 25.8 | 50 yr | 61.87 | 31.2 | 31.85 | 31.95 | 32.34 | 0.009547 | 3.09 | 20 | 33.19 | 1.27 |
| ANAYROS | 25.8 | 25 yr | 55.02 | 31.2 | 31.81 | 31.9 | 32.26 | 0.009675 | 2.97 | 18.55 | 33.19 | 1.27 |
| ANAYROS | 25.8 | 10 yr | 46.89 | 31.2 | 31.75 | 31.84 | 32.15 | 0.009815 | 2.8 | 16.76 | 33.19 | 1.26 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 25 | 1000yr | 77.63 | 29.95 | 30.89 | 31.17 | 31.84 | 0.03457 | 4.31 | 18.01 | 30.66 | 1.8 |
| ANAYROS | 25 | 100 yr | 70.78 | 29.95 | 30.85 | 31.12 | 31.75 | 0.035683 | 4.2 | 16.86 | 30.64 | 1.81 |
| ANAYROS | 25 | 50 yr | 61.87 | 29.95 | 30.8 | 31.05 | 31.63 | 0.037253 | 4.04 | 15.33 | 30.61 | 1.82 |
| ANAYROS | 25 | 25 yr | 55.02 | 29.95 | 30.76 | 30.99 | 31.54 | 0.038603 | 3.9 | 14.12 | 30.59 | 1.83 |
| ANAYROS | 25 | 10 yr | 46.89 | 29.95 | 30.71 | 30.92 | 31.42 | 0.040585 | 3.71 | 12.62 | 30.56 | 1.84 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 24 | 1000yr | 77.63 | 26.91 | 27.8 | 28.2 | 29.19 | 0.055147 | 5.22 | 14.87 | 27.06 | 2.25 |
| ANAYROS | 24 | 100 yr | 70.78 | 26.91 | 27.77 | 28.14 | 29.07 | 0.05454 | 5.06 | 13.99 | 26.48 | 2.22 |
| ANAYROS | 24 | 50 yr | 61.87 | 26.91 | 27.72 | 28.07 | 28.91 | 0.053741 | 4.83 | 12.8 | 25.66 | 2.18 |
| ANAYROS | 24 | 25 yr | 55.02 | 26.91 | 27.69 | 28.01 | 28.79 | 0.05314 | 4.65 | 11.84 | 24.98 | 2.15 |
| ANAYROS | 24 | 10 yr | 46.89 | 26.91 | 27.64 | 27.93 | 28.62 | 0.052122 | 4.4 | 10.67 | 24.13 | 2.11 |

# ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ HEC-RAS

| RIVER | River Stat. | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chnl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| ANAYROS | 23 | 1000yr | 77.63 | 24.95 | 26.3 | 26.52 | 27.09 | 0.02293 | 3.94 | 19.71 | 27.55 | 1.49 |
| ANAYROS | 23 | 100 yr | 70.78 | 24.95 | 26.25 | 26.47 | 27 | 0.022762 | 3.83 | 18.46 | 26.72 | 1.47 |
| ANAYROS | 23 | 50 yr | 61.87 | 24.95 | 26.19 | 26.39 | 26.88 | 0.022555 | 3.69 | 16.77 | 25.57 | 1.45 |
| ANAYROS | 23 | 25 yr | 55.02 | 24.95 | 26.13 | 26.33 | 26.78 | 0.022407 | 3.57 | 15.43 | 24.61 | 1.44 |
| ANAYROS | 23 | 10 yr | 46.89 | 24.95 | 26.06 | 26.24 | 26.66 | 0.022291 | 3.41 | 13.74 | 23.36 | 1.42 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 22 | 1000yr | 77.63 | 23.73 | 24.77 | 24.95 | 25.49 | 0.020585 | 3.76 | 20.65 | 29.18 | 1.43 |
| ANAYROS | 22 | 100 yr | 70.78 | 23.73 | 24.73 | 24.9 | 25.4 | 0.020696 | 3.63 | 19.47 | 29.12 | 1.42 |
| ANAYROS | 22 | 50 yr | 61.87 | 23.73 | 24.67 | 24.83 | 25.28 | 0.02079 | 3.46 | 17.91 | 29.03 | 1.4 |
| ANAYROS | 22 | 25 yr | 55.02 | 23.73 | 24.63 | 24.77 | 25.18 | 0.020789 | 3.3 | 16.66 | 28.97 | 1.39 |
| ANAYROS | 22 | 10 yr | 46.89 | 23.73 | 24.58 | 24.7 | 25.07 | 0.020662 | 3.1 | 15.14 | 28.88 | 1.37 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 21 | 1000yr | 77.63 | 21.65 | 22.66 | 22.87 | 23.49 | 0.020324 | 4.04 | 19.23 | 23.82 | 1.43 |
| ΑΝΑΥΡΟΣ | 21 | 100 yr | 70.78 | 21.65 | 22.61 | 22.81 | 23.39 | 0.020454 | 3.91 | 18.12 | 23.74 | 1.43 |
| ΑΝΑΥΡΟΣ | 21 | 50 yr | 61.87 | 21.65 | 22.55 | 22.73 | 23.25 | 0.020714 | 3.73 | 16.61 | 23.63 | 1.42 |
| ΑΝΑΥΡΟΣ | 21 | 25 yr | 55.02 | 21.65 | 22.49 | 22.66 | 23.15 | 0.020963 | 3.58 | 15.39 | 23.54 | 1.41 |
| ΑΝΑΥΡΟΣ | 21 | 10 yr | 46.89 | 21.65 | 22.43 | 22.58 | 23.01 | 0.021385 | 3.38 | 13.85 | 23.43 | 1.41 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 20.1 | 1000yr | 77.63 | 20.83 | 22.83 | 21.89 | 22.98 | 0.000678 | 1.7 | 45.65 | 23.19 | 0.39 |
| ANAYROS | 20.1 | 100 yr | 70.78 | 20.83 | 22.72 | 21.83 | 22.86 | 0.000671 | 1.64 | 43.2 | 23.16 | 0.38 |
| ANAYROS | 20.1 | 50 yr | 61.87 | 20.83 | 22.5 | 21.74 | 22.63 | 0.000771 | 1.63 | 37.95 | 23.07 | 0.41 |
| ANAYROS | 20.1 | 25 yr | 55.02 | 20.83 | 22.31 | 21.67 | 22.44 | 0.000901 | 1.64 | 33.54 | 23 | 0.43 |
| ANAYROS | 20.1 | 10 yr | 46.89 | 20.83 | 22.07 | 21.59 | 22.21 | 0.001145 | 1.67 | 28.15 | 22.91 | 0.48 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 20 | | Bridge | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 19.8 | 1000yr | 77.63 | 20.83 | 22.8 | 21.86 | 22.95 | 0.000715 | 1.73 | 44.89 | 23.18 | 0.4 |
| ANAYROS | 19.8 | 100 yr | 70.78 | 20.83 | 22.69 | 21.81 | 22.83 | 0.000707 | 1.67 | 42.48 | 23.14 | 0.39 |
| ANAYROS | 19.8 | 50 yr | 61.87 | 20.83 | 22.46 | 21.73 | 22.6 | 0.000824 | 1.67 | 37.15 | 23.06 | 0.42 |
| ANAYROS | 19.8 | 25 yr | 55.02 | 20.83 | 22.27 | 21.66 | 22.41 | 0.000987 | 1.69 | 32.6 | 22.98 | 0.45 |
| ANAYROS | 19.8 | 10 yr | 46.89 | 20.83 | 22.02 | 21.58 | 22.17 | 0.001324 | 1.74 | 26.9 | 22.89 | 0.51 |

# ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ HEC-RAS

| RIVER | River Stat. | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chnl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| ANAYROS | 19 | 1000yr | 77.63 | 20.5 | 22.76 | 21.84 | 22.94 | 0.000738 | 1.88 | 41.22 | 21.49 | 0.43 |
| ANAYROS | 19 | 100 yr | 70.78 | 20.5 | 22.66 | 21.8 | 22.83 | 0.000719 | 1.81 | 39.06 | 21.2 | 0.43 |
| ANAYROS | 19 | 50 yr | 61.87 | 20.5 | 22.43 | 21.71 | 22.6 | 0.000809 | 1.81 | 34.25 | 20.55 | 0.45 |
| ANAYROS | 19 | 25 yr | 55.02 | 20.5 | 22.23 | 21.64 | 22.4 | 0.000856 | 1.81 | 30.32 | 18.73 | 0.46 |
| ANAYROS | 19 | 10 yr | 46.89 | 20.5 | 22 | 21.56 | 22.16 | 0.000959 | 1.8 | 26.06 | 18 | 0.48 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 18 | 1000yr | 77.63 | 19.87 | 22.22 | 22.22 | 22.84 | 0.005818 | 3.51 | 22.12 | 17.8 | 1 |
| ANAYROS | 18 | 100 yr | 70.78 | 19.87 | 22.07 | 22.07 | 22.73 | 0.005688 | 3.59 | 19.73 | 14.67 | 0.99 |
| ANAYROS | 18 | 50 yr | 61.87 | 19.87 | 21.62 | 21.62 | 22.47 | 0.005943 | 4.08 | 15.17 | 9.03 | 1 |
| ANAYROS | 18 | 25 yr | 55.02 | 19.87 | 21.49 | 21.49 | 22.28 | 0.005946 | 3.93 | 14.01 | 9.01 | 1 |
| ANAYROS | 18 | 10 yr | 46.89 | 19.87 | 21.33 | 21.33 | 22.04 | 0.005963 | 3.73 | 12.58 | 8.98 | 1 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 17 | 1000yr | 82.85 | 19.43 | 21.25 | 21.69 | 22.55 | 0.013561 | 5.06 | 16.38 | 14.5 | 1.52 |
| ANAYROS | 17 | 100 yr | 76 | 19.43 | 21.15 | 21.63 | 22.45 | 0.012519 | 5.05 | 15.06 | 12.21 | 1.45 |
| ANAYROS | 17 | 50 yr | 67.09 | 19.43 | 21.04 | 21.53 | 22.23 | 0.010078 | 4.84 | 13.86 | 9.68 | 1.29 |
| ANAYROS | 17 | 25 yr | 60.24 | 19.43 | 20.92 | 21.39 | 22.05 | 0.009427 | 4.7 | 12.81 | 8.8 | 1.24 |
| ANAYROS | 17 | 10 yr | 52.11 | 19.43 | 20.78 | 21.14 | 21.81 | 0.009535 | 4.5 | 11.59 | 8.8 | 1.25 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 16 | 1000yr | 82.85 | 18.39 | 20.09 | 20.64 | 21.63 | 0.01707 | 5.51 | 15.02 | 13.6 | 1.67 |
| ANAYROS | 16 | 100 yr | 76 | 18.39 | 19.91 | 20.53 | 21.62 | 0.014059 | 5.8 | 13.09 | 8.8 | 1.52 |
| ANAYROS | 16 | 50 yr | 67.09 | 18.39 | 19.74 | 20.4 | 21.45 | 0.015865 | 5.79 | 11.58 | 8.8 | 1.61 |
| ANAYROS | 16 | 25 yr | 60.24 | 18.39 | 19.62 | 20.29 | 21.27 | 0.01676 | 5.69 | 10.59 | 8.8 | 1.65 |
| ANAYROS | 16 | 10 yr | 52.11 | 18.39 | 19.5 | 20.14 | 21.03 | 0.017308 | 5.47 | 9.53 | 8.8 | 1.68 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 15 | 1000yr | 82.85 | 17.51 | 19.19 | 19.74 | 20.77 | 0.017466 | 5.57 | 14.88 | 13.58 | 1.7 |
| ANAYROS | 15 | 100 yr | 76 | 17.51 | 18.96 | 19.68 | 20.85 | 0.016343 | 6.09 | 12.47 | 8.9 | 1.64 |
| ANAYROS | 15 | 50 yr | 67.09 | 17.51 | 18.83 | 19.56 | 20.62 | 0.017059 | 5.93 | 11.32 | 8.9 | 1.68 |
| ANAYROS | 15 | 25 yr | 60.24 | 17.51 | 18.73 | 19.42 | 20.42 | 0.017385 | 5.75 | 10.48 | 8.9 | 1.69 |
| ANAYROS | 15 | 10 yr | 52.11 | 17.51 | 18.62 | 19.26 | 20.15 | 0.017546 | 5.48 | 9.51 | 8.9 | 1.69 |

# ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ HEC-RAS

| RIVER | River Stat. | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chnl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| ANAYROS | 14 | 1000yr | 82.85 | 16.05 | 17.77 | 18.2 | 19.24 | 0.017633 | 5.38 | 15.39 | 15.05 | 1.7 |
| ANAYROS | 14 | 100 yr | 76 | 16.05 | 17.67 | 18.11 | 19.19 | 0.020453 | 5.46 | 13.92 | 15.05 | 1.81 |
| ANAYROS | 14 | 50 yr | 67.09 | 16.05 | 17.39 | 18.01 | 19.17 | 0.016831 | 5.92 | 11.34 | 8.8 | 1.66 |
| ANAYROS | 14 | 25 yr | 60.24 | 16.05 | 17.3 | 17.92 | 18.96 | 0.016774 | 5.7 | 10.57 | 8.8 | 1.66 |
| ANAYROS | 14 | 10 yr | 52.11 | 16.05 | 17.19 | 17.81 | 18.69 | 0.016723 | 5.41 | 9.63 | 8.8 | 1.65 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 13 | 1000yr | 82.85 | 14.5 | 15.93 | 16.6 | 17.96 | 0.014316 | 6.31 | 13.12 | 9.33 | 1.7 |
| ANAYROS | 13 | 100 yr | 76 | 14.5 | 15.83 | 16.47 | 17.8 | 0.014895 | 6.21 | 12.24 | 9.33 | 1.73 |
| ANAYROS | 13 | 50 yr | 67.09 | 14.5 | 15.64 | 16.28 | 17.75 | 0.019021 | 6.44 | 10.41 | 9.33 | 1.95 |
| ANAYROS | 13 | 25 yr | 60.24 | 14.5 | 15.56 | 16.14 | 17.53 | 0.019215 | 6.23 | 9.68 | 9.33 | 1.95 |
| ANAYROS | 13 | 10 yr | 52.11 | 14.5 | 15.46 | 15.99 | 17.26 | 0.019487 | 5.94 | 8.77 | 9.33 | 1.96 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 12 | 1000yr | 82.85 | 12.43 | 13.92 | 14.62 | 16.02 | 0.017467 | 6.42 | 12.91 | 8.81 | 1.69 |
| ANAYROS | 12 | 100 yr | 76 | 12.43 | 13.84 | 14.52 | 15.82 | 0.017517 | 6.24 | 12.18 | 8.81 | 1.69 |
| ANAYROS | 12 | 50 yr | 67.09 | 12.43 | 13.76 | 14.39 | 15.49 | 0.016181 | 5.83 | 11.51 | 8.81 | 1.63 |
| ANAYROS | 12 | 25 yr | 60.24 | 12.43 | 13.68 | 14.26 | 15.27 | 0.016031 | 5.6 | 10.76 | 8.81 | 1.62 |
| ANAYROS | 12 | 10 yr | 52.11 | 12.43 | 13.57 | 13.98 | 15.01 | 0.015863 | 5.31 | 9.81 | 8.81 | 1.61 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 11 | 1000yr | 82.85 | 10.64 | 12.32 | 12.67 | 13.52 | 0.018742 | 4.85 | 17.07 | 21.61 | 1.74 |
| ANAYROS | 11 | 100 yr | 76 | 10.64 | 12.29 | 12.61 | 13.38 | 0.017797 | 4.62 | 16.45 | 21.61 | 1.69 |
| ANAYROS | 11 | 50 yr | 67.09 | 10.64 | 12.24 | 12.52 | 13.21 | 0.017196 | 4.36 | 15.4 | 21.61 | 1.65 |
| ANAYROS | 11 | 25 yr | 60.24 | 10.64 | 12.21 | 12.46 | 13.07 | 0.016207 | 4.1 | 14.68 | 21.61 | 1.59 |
| ANAYROS | 11 | 10 yr | 52.11 | 10.64 | 11.81 | 12.37 | 13.13 | 0.01412 | 5.1 | 10.23 | 8.9 | 1.52 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 10 | 1000yr | 82.85 | 6.54 | 9.95 | 8.57 | 10.3 | 0.001355 | 2.63 | 31.54 | 9.34 | 0.46 |
| ANAYROS | 10 | 100 yr | 76 | 6.54 | 9.84 | 8.46 | 10.15 | 0.001248 | 2.49 | 30.53 | 9.34 | 0.44 |
| ANAYROS | 10 | 50 yr | 67.09 | 6.54 | 9.69 | 8.31 | 9.96 | 0.001106 | 2.3 | 29.16 | 9.34 | 0.42 |
| ANAYROS | 10 | 25 yr | 60.24 | 6.54 | 9.57 | 8.18 | 9.81 | 0.000996 | 2.15 | 28.02 | 9.34 | 0.4 |
| ANAYROS | 10 | 10 yr | 52.11 | 6.54 | 9.43 | 8.03 | 9.63 | 0.00085 | 1.95 | 26.75 | 9.34 | 0.37 |

# ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ HEC-RAS

| RIVER | River Stat. | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chnl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| ANAYROS | 9 | 1000yr | 82.85 | 7.13 | 9.25 | 9.25 | 10.04 | 0.00584 | 3.93 | 21.09 | 13.46 | 1 |
| ANAYROS | 9 | 100 yr | 76 | 7.13 | 9.17 | 9.17 | 9.91 | 0.005889 | 3.82 | 19.89 | 13.46 | 1 |
| ANAYROS | 9 | 50 yr | 67.09 | 7.13 | 9.04 | 9.04 | 9.73 | 0.006016 | 3.68 | 18.24 | 13.46 | 1.01 |
| ANAYROS | 9 | 25 yr | 60.24 | 7.13 | 8.95 | 8.95 | 9.59 | 0.006074 | 3.55 | 16.97 | 13.46 | 1.01 |
| ANAYROS | 9 | 10 yr | 52.11 | 7.13 | 8.66 | 8.66 | 9.42 | 0.006055 | 3.85 | 13.55 | 8.99 | 1 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 8 | 1000yr | 82.85 | 5.56 | 7.06 | 7.78 | 9.14 | 0.017181 | 6.39 | 12.97 | 8.81 | 1.68 |
| ANAYROS | 8 | 100 yr | 76 | 5.56 | 6.96 | 7.66 | 8.99 | 0.018154 | 6.32 | 12.03 | 8.81 | 1.73 |
| ANAYROS | 8 | 50 yr | 67.09 | 5.56 | 6.82 | 7.51 | 8.79 | 0.019659 | 6.22 | 10.79 | 8.81 | 1.79 |
| ANAYROS | 8 | 25 yr | 60.24 | 5.56 | 6.71 | 7.37 | 8.62 | 0.020966 | 6.12 | 9.84 | 8.81 | 1.85 |
| ANAYROS | 8 | 10 yr | 52.11 | 5.56 | 6.57 | 7.12 | 8.43 | 0.023466 | 6.03 | 8.64 | 8.81 | 1.95 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 7 | 1000yr | 82.85 | 4.74 | 6.24 | 7 | 8.27 | 0.016835 | 6.32 | 13.1 | 8.93 | 1.67 |
| ANAYROS | 7 | 100 yr | 76 | 4.74 | 6.16 | 6.88 | 8.08 | 0.016835 | 6.14 | 12.37 | 8.93 | 1.67 |
| ANAYROS | 7 | 50 yr | 67.09 | 4.74 | 6.05 | 6.62 | 7.81 | 0.016808 | 5.88 | 11.4 | 8.93 | 1.66 |
| ANAYROS | 7 | 25 yr | 60.24 | 4.74 | 5.96 | 6.44 | 7.6 | 0.016737 | 5.66 | 10.64 | 8.93 | 1.66 |
| ANAYROS | 7 | 10 yr | 52.11 | 4.74 | 5.86 | 6.28 | 7.33 | 0.016574 | 5.37 | 9.71 | 8.93 | 1.64 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 6 | 1000yr | 82.85 | 3.61 | 4.63 | 5.32 | 6.98 | 0.027769 | 6.78 | 12.22 | 13.17 | 2.25 |
| ANAYROS | 6 | 100 yr | 76 | 3.61 | 4.58 | 5.22 | 6.78 | 0.027737 | 6.57 | 11.57 | 13.12 | 2.23 |
| ANAYROS | 6 | 50 yr | 67.09 | 3.61 | 4.52 | 5.09 | 6.52 | 0.027671 | 6.27 | 10.69 | 13.05 | 2.21 |
| ANAYROS | 6 | 25 yr | 60.24 | 3.61 | 4.46 | 5 | 6.31 | 0.027596 | 6.03 | 10 | 12.99 | 2.19 |
| ANAYROS | 6 | 10 yr | 52.11 | 3.61 | 4.4 | 4.88 | 6.06 | 0.027485 | 5.71 | 9.13 | 12.92 | 2.17 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 5 | 1000yr | 82.85 | 3.09 | 3.81 | 4.37 | 5.89 | 0.029643 | 6.4 | 12.95 | 18.9 | 2.47 |
| ANAYROS | 5 | 100 yr | 76 | 3.09 | 3.77 | 4.3 | 5.7 | 0.029125 | 6.16 | 12.35 | 18.9 | 2.43 |
| ANAYROS | 5 | 50 yr | 67.09 | 3.09 | 3.73 | 4.2 | 5.46 | 0.028341 | 5.82 | 11.53 | 18.9 | 2.38 |
| ANAYROS | 5 | 25 yr | 60.24 | 3.09 | 3.7 | 4.13 | 5.26 | 0.027523 | 5.53 | 10.89 | 18.9 | 2.33 |
| ANAYROS | 5 | 10 yr | 52.11 | 3.09 | 3.65 | 4.04 | 5.02 | 0.026533 | 5.17 | 10.08 | 18.9 | 2.26 |

# ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ HEC-RAS

| RIVER | River Stat. | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chnl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| ANAYROS | 4 | 1000yr | 82.85 | 2.36 | 3.52 | 3.87 | 4.72 | 0.020573 | 4.85 | 17.1 | 25.16 | 1.88 |
| ANAYROS | 4 | 100 yr | 76 | 2.36 | 3.49 | 3.82 | 4.58 | 0.019544 | 4.62 | 16.47 | 25.12 | 1.82 |
| ANAYROS | 4 | 50 yr | 67.09 | 2.36 | 3.46 | 3.74 | 4.4 | 0.017873 | 4.28 | 15.68 | 25.08 | 1.73 |
| ANAYROS | 4 | 25 yr | 60.24 | 2.36 | 3.44 | 3.68 | 4.26 | 0.016565 | 4.01 | 15.02 | 25.04 | 1.65 |
| ANAYROS | 4 | 10 yr | 52.11 | 2.36 | 3.4 | 3.6 | 4.09 | 0.014961 | 3.68 | 14.17 | 24.99 | 1.56 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 3 | 1000yr | 89.37 | 2.1 | 3.02 | 3.43 | 4.38 | 0.018623 | 5.15 | 17.34 | 22.29 | 1.87 |
| ANAYROS | 3 | 100 yr | 82.53 | 2.1 | 2.99 | 3.37 | 4.25 | 0.018261 | 4.97 | 16.6 | 22.21 | 1.84 |
| ANAYROS | 3 | 50 yr | 73.62 | 2.1 | 2.94 | 3.29 | 4.08 | 0.017709 | 4.72 | 15.6 | 22.11 | 1.79 |
| ANAYROS | 3 | 25 yr | 66.77 | 2.1 | 2.91 | 3.22 | 3.95 | 0.017469 | 4.53 | 14.75 | 22.01 | 1.77 |
| ANAYROS | 3 | 10 yr | 58.64 | 2.1 | 2.85 | 3.14 | 3.8 | 0.017348 | 4.3 | 13.63 | 21.89 | 1.74 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 2 | 1000yr | 89.37 | 1 | 2.9 | 2.29 | 3.11 | 0.002165 | 2.04 | 43.79 | 27.04 | 0.51 |
| ANAYROS | 2 | 100 yr | 82.53 | 1 | 2.83 | 2.23 | 3.03 | 0.002132 | 1.97 | 41.81 | 26.91 | 0.51 |
| ANAYROS | 2 | 50 yr | 73.62 | 1 | 2.73 | 2.15 | 2.91 | 0.002075 | 1.88 | 39.2 | 26.74 | 0.5 |
| ANAYROS | 2 | 25 yr | 66.77 | 1 | 2.65 | 2.09 | 2.82 | 0.002019 | 1.8 | 37.15 | 26.61 | 0.49 |
| ANAYROS | 2 | 10 yr | 58.64 | 1 | 2.55 | 2.02 | 2.7 | 0.001962 | 1.7 | 34.51 | 26.43 | 0.47 |
| | | | | | | | | | | | | |
| ANAYROS | 1 | 1000yr | 89.37 | 1 | 2.29 | 2.29 | 2.82 | 0.009318 | 3.25 | 27.52 | 25.97 | 1.01 |
| ANAYROS | 1 | 100 yr | 82.53 | 1 | 2.23 | 2.23 | 2.74 | 0.009313 | 3.15 | 26.18 | 25.88 | 1 |
| ANAYROS | 1 | 50 yr | 73.62 | 1 | 2.16 | 2.16 | 2.63 | 0.009508 | 3.04 | 24.22 | 25.74 | 1 |
| ANAYROS | 1 | 25 yr | 66.77 | 1 | 2.09 | 2.09 | 2.54 | 0.009825 | 2.96 | 22.55 | 25.63 | 1.01 |
| ANAYROS | 1 | 10 yr | 58.64 | 1 | 2.02 | 2.02 | 2.43 | 0.009891 | 2.83 | 20.75 | 25.51 | 1 |

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

**Φωτο. 1, 2, 3:** Απεικόνιση των γεφυρών στις συμβολές των οδών Αναλήψεως, Γιάννη Δήμου, όπως επίσης και του Περιφερειακού δρόμου με τον ποταμό Άναυρο.


**Φωτο. 4, 5, 6:** Απεικόνιση οχετών όμβριων υδάτων διαμέτρου 200 mm, 300 mm, 750 mm αντίστοιχα

**Φωτο. 7, 8:** Απεικόνιση τυπικών διατομών του ποταμού Αναύρου.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


1. Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, ΓΕΕΘΑ, Δ/νση Τεχνικών Υπηρεσιών της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Μαγνησίας, Τοπογραφικοί Χάρτες σε κλίμακα 1:5000
2. Δερμίσης Δ. Βασίλειος, Εισαγωγή στη μηχανική των ποταμών, ΑΠΘ, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, Θεσσαλονίκη 2000
3. Δημητρίου Ι. Δ., Εφαρμοσμένη Υδραυλική, τεύχος Α, τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα Ιανουάριος 1995
4. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, ''Νόμος περί μελετών Δημοσίων Έργων'', Άρθρο 187, Ν.696/74
5. Λειψυδρία και πλημμύρες, Πρακτικά συμποσίου, Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Θεσσαλονίκη 17 & 18 Μαρτίου 1982
6. Λέκκας Λ. Ευθύμιος, Φυσικές & τεχνολογικές καταστροφές, Αθήνα 1996
7. ΜΕΤΕΡ-Σύμβουλοι Μηχανικοί Ε.Π.Ε., ΥΔΡΑΚΤΙΣ Μελετητική-Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε., Δημοτική Επιχείρησή Ύδρευσης & Αποχέτευσης Μείζονος Περιοχής Βόλου, Υδρολογική μελέτη ''Διαχείριση Υδατικών Πόρων της μείζονος υδρολογικής λεκάνης Βόλου'', Αθήνα Ιούλιος 2002
8. Παπανικολάου Ν. Παναγιώτης, Μόνιμη ροή σε ανοικτούς αγωγούς υπό πίεση και ανοικτούς αγωγούς, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας, Σεπτέμβριος 2001
9. Παρθενιάδης Μ. Εμμανουήλ, Υδραυλικά έργα, Συστήματα ανοικτών αγωγών και διευθετήσεις φυσικών υδατορευμάτων, ΑΠΘ, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, Θεσσαλονίκη 1986
10. Σακκάς Γ. Ιωάννης, Τεχνική υδρολογία, Τεύχος 1, Υδρολογία επιφανειακών υδάτων, Ξάνθη 1992-93
11. Σύμπραξη μελετητικών γραφείων Δημητρίου Μπάρκα, Τοπογράφου Μηχανικού, & ''Γραφείο Κωνσταντινίδη Ε.Π.Ε'', υπό την επίβλεψη του Τμήματος Υδραυλικών Έργων, της Δ/νσης Τεχνικών Υπηρεσιών της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Μαγνησίας, Οριστική Μελέτη: ''Αντιπλημμυρικά έργα χειμάρρων Ξηριά- Κραυσίδωνα-Αναύρου Βόλου'', Βόλος Ιούλιος 1998

12. Χατζηαγγέλου Ηρακλής, Αποχετεύσεις, Τεύχος 4, Θεσσαλονίκη Νοέμβρίος 1996
13. Us Army Corps of Engineers-Hydrologic Engineering Center, HEC-RAS Hydraulic Reference Manual, Version 3.1.1, May 2003
14. Us Army Corps of Engineers-Hydrologic Engineering Center, HEC-RAS Application Guide, Version 3.1.1, May 2003
15. Us Army Corps of Engineers-Hydrologic Engineering Center, HEC-RAS User's Manual, Version 3.1.1, May 2003